TP 14295F

Étude sur les risques nécessitant le double pilotage dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides

Préparé pour le
Centre de développement des transports
Transports Canada

MARITIME INNOVATION
INSTITUT MARITIME DU QUÉBEC

Juin 2004

TP 14295F

Étude sur les risques nécessitant le double pilotage dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides

par
Jacques Paquin et Alain Richard (Innovation Maritime)

en collaboration avec
Martin Fournier (Robert Hamelin et Associés)
Wayne Rhodes (Rhodes & Associates)

Juin 2004

105-02754/

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs (ou de l'organisme exécutant) et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports de Transports Canada.

Équipe de projet :
Jacques Paquin, chargé de projet
Alain Richard, expert maritime
Martin Fournier, expert en évaluation de risques
Wayne Rhodes, expert en facteurs humains

A translation of this report is also available in English: "Risk Study of Double Pilotage in the Laurentian Pilotage Authority Region", TP 14295E.

Transports Canada / Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 14295F	5446-47	

4. Titre et sous-titre

Étude sur les risques nécessitant le double pilotage dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides

5. Date de la publication

Juin 2004

6. N° de document de l'organisme exécutant

T8200-03-3510

7. Auteur(s)

J. Paquin, A. Richard, M. Fournier et W. Rhodes

8. N° de dossier - Transports Canada

2450-CP-13

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant

Innovation Maritime
53, rue Saint-Germain Ouest
Rimouski (Québec)
G5L 4B4

Robert Hamelin et Associés
C.P. 95
Saint-Jean-Chrysostome (Québec)
G6Z 2L4

Rhodes & Associates
177 Jenny Wrenway
Toronto (Ontario)
M2H 2Z3

10. N° de dossier - TPSGC

MTB-3-00700

11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada

T8200-033510/001/MTB

12. Nom et adresse de l'organisme parrain

Centre de développement des transports (CDT)
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

13. Genre de publication et période visée

Finale

14. Agent de projet

André Taschereau

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

16. Résumé

L'étude sur les risques nécessitant le double pilotage dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides a comme objectif de répondre aux questionnements suivants :

- Quel est le rôle du deuxième pilote?
- Quelle est sa valeur ajoutée?
- Quand le deuxième pilote est-il vraiment nécessaire?
- Dans quelle mesure le deuxième pilote réduit-il le risque?

Pour atteindre l'objectif de l'étude, une approche conforme à la *Méthode de gestion des risques de pilotage (MGRP)* (voir TP 13741F), a été appliquée et bonifiée. Le résultat de l'étude consiste en un modèle d'évaluation de base permettant d'évaluer le niveau de risque pour un transit sur le fleuve Saint-Laurent dans les circonscriptions de pilotage n^{os} 1 et 2.

Pour illustrer l'application du modèle dans un contexte réglementaire, l'étude comprend des tableaux présentant le niveau de risque engendré par le passage d'un navire-type avec des longueurs et des durées variables. Ces tableaux servent à évaluer la pertinence d'avoir ou non un deuxième pilote à bord en fonction d'un niveau de risque tolérable.

L'étude permet de conclure qu'afin d'arriver à gérer de façon optimale les affectations d'un deuxième pilote lors d'un transit, il serait nécessaire de mesurer le niveau de risque au cas par cas à l'aide d'une version validée et raffinée du modèle.

17. Mots clés	18. Diffusion
Double pilotage, Administration de pilotage des Laurentides, risque, Loi sur le pilotage	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	xii, 109, ann.	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 14295F	5446-47	

4. Title and Subtitle

Étude sur les risques nécessitant le double pilotage dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides

5. Publication Date

June 2004

6. Performing Organization Document No.

T8200-03-3510

7. Author(s)

J. Paquin, A. Richard, M. Fournier and W. Rhodes

8. Transport Canada File No.

2450-CP-13

9. Performing Organization Name and Address

Innovation Maritime
53 Saint-Germain Ouest
Rimouski, Quebec
G5L 4B4

Robert Hamelin et Associés
P.O. Box 95
St. Jean Chrysostome, Quebec
G6Z 2L4

Rhodes & Associates
177 Jenny Wrenway
Toronto, Ontario
M2H 2Z3

10. PWGSC File No.

MTB-3-00700

11. PWGSC or Transport Canada Contract No.

T8200-033510/001/MTB

12. Sponsoring Agency Name and Address

Transportation Development Centre (TDC)
800 René Lévesque Blvd. West
Suite 600
Montreal, Quebec
H3B 1X9

13. Type of Publication and Period Covered

Final

14. Project Officer

André Taschereau

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

16. Abstract

The objective of this study was to answer the following questions:

- What are the second pilot's duties?
- What is the added value of the second pilot?
- When is a second pilot really necessary?
- How much is risk reduced by having the second pilot?

To achieve this objective, an approach was used based on an expanded version of the *Pilotage Risk Management Methodology* (see TP 13741E). The study resulted in a risk analysis model to assess the level of risk for a ship's transit on the St. Lawrence River in regions 1 and 2 of the Laurentian Pilotage Authority.

To illustrate the application of the model in a regulatory context, the report includes tables showing the level of risk generated by a typical vessel transit of various distances and durations. These tables help to asses the relevance of whether a second pilot is required based on the level of tolerable risk.

The study concluded that, in order to achieve optimal management of double pilotage requirements, the level of risk would have to be measured on a case-by-case basis using a further refined and validated version of the model.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Double pilotage, Laurentian Pilotage Authority, risk, Pilotage Act	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	xii, 109, apps	Shipping/ Handling

Sommaire

Innovation Maritime s'est vu confier par Transports Canada le mandat de réaliser une étude sur les risques nécessitant le double pilotage dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides. Ce mandat fait suite à la 4e recommandation formulée dans l'*Examen ministériel de questions de pilotage demeurées en suspens* déposé par l'Office des transports du Canada au Parlement canadien, en novembre 1999. Cette recommandation se lit comme suit :

> *«Réaliser une évaluation en fonction des risques, afin de déterminer à quel moment et dans quelles circonstances l'obligation du double pilotage est valide, à savoir celle qui s'applique à tous les navires pendant la saison hivernale, celle qui s'applique aux navires citernes de plus de 40 000 tonneaux et celle qui s'applique aux navires à passagers de plus de 100 mètres de long pour le secteur sous la responsabilité de l'Administration de pilotage des Laurentides (APL).»*

Plus précisément, Innovation maritime devait répondre aux questions suivantes :

- Quel est le rôle du deuxième pilote?
- Quelle est sa valeur ajoutée?
- Dans quelle mesure le deuxième pilote réduit-il le risque?
- Quand le deuxième pilote est-il vraiment nécessaire?

Pour répondre à ce mandat, Innovation maritime a développé une méthodologie conformément à la *Méthode de gestion des risques de pilotage (MGRP)*, TP 13741F, bonifiée pour mieux y intégrer l'analyse des facteurs humains à l'aide de la méthode *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART). L'étude a débuté par une évaluation des besoins, problèmes et préoccupations (BPP) des intervenants, suivie par une première ronde de consultations et par des voyages de reconnaissance à bord de navires. De plus, les auteurs ont initié, en début de mandat, une revue de la littérature qui s'est poursuivie tout au long du mandat. Cette revue de la littérature a permis de bien délimiter le sujet de l'étude et d'en saisir les enjeux. La revue de la littérature est divisée en quatre sections, soit : le pilotage, les accidents et incidents, les impacts environnementaux et, bien entendu, les facteurs humains.

Parallèlement à la revue de la littérature, une analyse statistique et spatiale a été complétée à partir de différentes bases de données disponibles. Ces bases de données ont dû être traitées de façon à

permettre l'extraction des données pertinentes à l'étude. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le rapport et dans les annexes.

À partir de la MGRP, des scénarios furent élaborés, et ceux-ci ont fait l'objet d'une deuxième ronde de consultations auprès des principaux intervenants. Ces scénarios ont permis d'analyser les risques et les mesures d'atténuation prises en compte. L'équipe d'Innovation maritime a ensuite procédé à l'élaboration d'un modèle d'analyse du risque. Cette étape s'est accompagnée de voyages de validation à bord de navires et d'une troisième ronde de consultations auprès des intervenants.

Le modèle est présenté dans le rapport et il est à la base des conclusions et recommandations qu'on y retrouve. Bien que les auteurs indiquent que le modèle pourrait servir d'outil lors de l'affectation du deuxième pilote, ils proposent de l'utiliser pour déterminer des grilles d'affectation basées sur le type et la taille du navire ainsi que la durée et les conditions du passage. Un aperçu de ces grilles est présenté dans les recommandations.

Recommandation n° 1 : Établissement d'un niveau de risque acceptable

Le modèle développé dans le cadre de ce projet a permis de démontrer la faisabilité d'établir quantitativement le niveau de risque associé au passage des navires sur le Saint-Laurent. Il a aussi permis d'évaluer la contribution du deuxième pilote à la réduction de ce risque. La pertinence du deuxième pilote est fonction du niveau de risque que nous sommes prêts à accepter. Selon notre modèle, le niveau de risque peut prendre une valeur située entre 0 et 30. À partir du niveau de risque actuel, compte tenu des conditions dans lesquelles se pratique le double pilotage, nous avons établi un niveau maximal de 0,0048 avec un seul pilote. Au-delà de ce seuil, un deuxième pilote devra être affecté.

Recommandation n° 2 : Durée du passage

En ce qui concerne la durée du passage, l'analyse nous révèle qu'un passage de 11 heures dans la circonscription n° 2 présente un niveau de risque comparable à un passage de 9 heures dans la circonscription n° 1 pour des navires de la taille de ceux fréquentant couramment le Saint-Laurent. Il est recommandé de maintenir la limite de 11 heures dans la circonscription n° 2, mais de réduire celle de la circonscription n° 1 à 9 heures.

Recommandation n° 3 : Utilisation de la longueur entre les perpendiculaires du navire

Contrairement à la réglementation actuelle, qui utilise le port en lourd comme indicateur de la taille du navire, nous croyons plutôt préférable d'utiliser la longueur entre les perpendiculaires du navire et

ce, pour toutes les catégories de navires. En effet, la longueur entre les perpendiculaires a davantage d'impact sur la manoeuvrabilité du navire et, de ce fait, sur le niveau de risque qu'il représente en situation de pilotage en eaux restreintes.

Recommandation n° 4 : Établissement de grilles d'affectation du double pilotage

Le niveau de risque maximal de 0,0048 et la durée maximale du passage de 9 heures dans la circonscription n° 1 et de 11 heures dans la circonscription n° 2 fournissent les balises qui serviront à établir les règles qui imposeront un deuxième pilote selon la taille du navire. Il est recommandé de bâtir des grilles d'affectation pour chacune des circonscriptions en tenant compte des conditions suivantes :

1. Trois catégories de navires : navires de marchandises (autres que navires-citernes), navires-citernes et navires passagers
2. Saison de navigation : été, hiver (à partir de l'enlèvement des bouées lumineuses et à partir d'un stade de formation des glaces)
3. Moment du passage : jour ou nuit
4. Condition particulière du passage : avec ou sans accostage

Le rapport renferme des exemples de ce type de grilles pour les navires de marchandises (autres que navires-citernes), les navires-citernes et les navires passagers lors de passages la nuit en été. Des grilles similaires pourraient être développées à l'aide du modèle pour couvrir les autres conditions prescrites précédemment. Un total de 72 grilles seraient nécessaires pour couvrir l'ensemble des conditions (3 catégories de navires X 3 saisons X 2 moments de passage X 2 conditions particulières X 2 circonscriptions).

Recommandation n° 5 : Autres mesures d'atténuation et facteurs aggravants

D'autres mesures d'atténuation pourraient être envisagées pour réduire le risque sans avoir recours à un deuxième pilote. Dans le cadre de cette étude, nous en avons envisagées principalement trois :

- l'application efficace des méthodes de gestion des ressources à la passerelle;
- l'expérience de l'équipage par rapport à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent;
- un système de navigation électronique performant, conforme aux normes et comprenant des cartes électroniques S57 à jour.

La présence de l'une ou l'autre de ces mesures pourrait éviter de devoir recourir à un deuxième pilote. Cependant, le modèle se doit d'être validé avant de pouvoir moduler la réglementation à ce

sujet. Il faudrait aussi prévoir des mécanismes d'évaluation qui permettront de déterminer si ces mesures sont effectivement présentes et si elles rencontrent des exigences qui sont aussi à définir.

Par ailleurs, il se peut aussi que des facteurs viennent aggraver la situation et rendre le passage d'un navire plus risqué. Pour établir les grilles présentées dans le rapport, nous avons supposé des conditions de navigation normales, un navire de manoeuvrabilité moyenne et en bonne condition et un équipage moyen. Si un navire devait se retrouver dans des conditions moins favorables, le niveau de risque pourrait augmenter suffisamment pour excéder le seuil de risque minimal. Ce navire, pourtant exempté du double pilotage selon la grille, aurait dû se voir imposer un deuxième pilote.

L'intégration des autres mesures d'atténuation et des facteurs aggravants viendrait alourdir considérablement l'application des grilles d'affection prévue dans la recommandation n° 4. Il semble difficile de l'envisager en dehors d'une application du modèle au cas par cas. Pourtant, on ne peut négliger les autres moyens de réduire le risque, de même que les différents facteurs pouvant contribuer à l'augmenter. À cela s'ajoute le fait que les conditions du pilotage ne cessent d'évoluer alors que les changements à la réglementation se font très lentement (les dernières modifications remontent à une dizaine d'années).

Recommandation n° 6 : Poursuite du développement du modèle

Le modèle a démontré qu'il était possible d'établir de façon objective le niveau de risque associé au passage des navires sur le Saint-Laurent. Cependant, son développement devra être complété si nous voulons définir l'ensemble des grilles d'affection du double pilotage tel que le suggère la recommandation n° 4. En effet, il reste à accélérer le traitement de milliers de passages théoriques et à optimiser l'analyse des résultats. Il serait aussi sûrement souhaitable de bâtir une interface facilitant l'utilisation du modèle par le non-initié.

Par ailleurs, nous avons vu que le modèle est en mesure d'évaluer l'impact d'autres mesures d'atténuation et l'incidence de facteurs aggravants. Cependant, il reste encore du travail de validation pour que cette partie du modèle réponde adéquatement aux besoins. Réaliser ce travail pourrait servir à moduler l'application des grilles d'affectation. Cela permettrait aussi d'explorer plus en profondeur l'utilisation du modèle en tant qu'outil d'affectation du deuxième pilote sans avoir à recourir aux grilles.

C'est pourquoi nous recommandons de poursuivre le développement du modèle

Table des matières

1. Introduction 1

2. Méthodologie 7

2.1 Cerner le problème ainsi que la nature et la portée de la décision à prendre 8
2.2 Répertorier les intervenants ainsi que leurs besoins, problèmes et préoccupations 8
2.3 Déterminer les dangers reliés aux situations nécessitant le double pilotage 9
2.4 Élaborer des scénarios de risque pour les dangers déterminés 10

2.4.1 Analyse préliminaire 11
2.4.2 Méthode quantitative 12

2.5 Affecter un niveau de risque à chaque conséquence négative 14

2.5.1 Arbre de défaillances 14
2.5.2 *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART) 14

2.6 Évaluer les mesures de prévention actuelles et la réduction du risque 15
2.7 Valider les dangers, scénarios de risque et mesures de prévention 15
2.8 Déterminer la meilleure option de contrôle du risque 16
2.9 Préparer un plan de mise en œuvre efficace 16

3. Revue de la littérature sur le double pilotage 19

3.1 Le pilotage 19
3.2 Accidents et incidents 21

3.2.1 Rapports d'accidents 21
3.2.2 Le navire 22
3.2.3 Aides à la navigation et dimensions du chenal 23
3.2.4 Facteurs externes 25

3.3 Impacts environnementaux 26

3.3.1 Identification des dangers 26
3.3.2 Identification des types de conséquences et de dommages 31

3.3.2.1 Conséquences 31
3.3.2.2 Dommages 32

3.4 Facteurs humains 36

4. Analyses statistique et spatiale 37

4.1 Traitement préliminaire des données 37
4.2 Analyse statistique 37
4.3 Analyse spatiale 38

5. Élaboration des scénarios 39

5.1 Description des scénarios de risque 39
5.2 Conséquences et gravité 45

6. Modèle d'analyse 49

6.1 Composantes du modèle 49

6.1.1 Le modèle HEART 51
6.1.2 Influence des facteurs aggravants 53
6.1.3 Sections de navigation 57

6.2 Utilisation du modèle 57

7. Résultats 59
7.1 Scénario et transit 59
7.2 Le choix des intrants 60
7.2.1 Intrants de mise en situation 60
7.2.2 Les mesures d'atténuation 62
7.2.3 Les facteurs aggravants 63
7.3 Les sorties (extrants) du modèle 63
7.3.1 Analyse comparative de la durée par secteur avec atténuation jour et nuit 64
7.3.2 Analyse comparative de la durée par secteur en fonction de la longueur du navire 66
7.3.3 Analyse comparative des facteurs environnementaux par secteur 69
7.3.4 Analyse du risque pour différents types de navires 71
7.3.5 Analyse du risque lié à l'accostage 72
7.3.6 Analyse du risque avec des mesures d'atténuation 73
8. Conclusion 75
9. Recommandations 91
Bibliographie 101

Liste des annexes

1. Revue de la littérature des facteurs humains (en anglais seulement)
2. Analyse méthodologique des facteurs humains (en anglais seulement)
3. Rapport statistique
4. Cartes de l'analyse spatiale
5. Scénarios
6. Calcul de manoeuvrabilité
7. Liste des participants aux consultations
8. Arbres de défaillances

Liste des tableaux

Tableau 1 Conditions et dangers 11
Tableau 2 Principaux facteurs pour l'évaluation des risques liés aux tâches des pilotes 13
Tableau 3 Liste des dangers associés à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent 28
Tableau 4 Synthèse des dangers associés aux différents tronçons de navigation 30
Tableau 5 Sommaire des conséquences et des dommages associés 35
Tableau 6 Dangers et facteurs aggravants retenus pour l'élaboration des scénarios 41
Tableau 7 Présentation des scénarios 44
Tableau 8 Grille de calcul de la gravité des conséquences 46
Tableau 9 Gravité et conséquences par scénario 47
Tableau 10 Données pour le calcul des probabilités d'occurrence selon la méthode HEART 52
Tableau 11 Niveau d'influence lié à un facteur aggravant 55
Tableau 12 Analyse comparative de la durée par secteur de jour 65
Tableau 13 Analyse comparative de la durée par secteur de nuit 66
Tableau 14 Analyse comparative de la durée par secteur en fonction de la longueur du navire 67
Tableau 15 Analyse comparative des facteurs environnementaux par secteur 69
Tableau 16 Analyse comparative des facteurs environnementaux en fonction des heures 70
Tableau 17 Analyse du risque pour différents types de navires 71
Tableau 18 Analyse du risque lié à l'accostage 72
Tableau 19 Analyse du risque avec des mesures d'atténuation 73
Tableau 20 Niveau de risque, circonscription n° 1, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage 81
Tableau 21 Niveau de risque, circonscription n° 2, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage 82
Tableau 22 Niveau de risque, circonscription n° 1, navire passagers, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage 83
Tableau 23 Niveau de risque, circonscription n° 2, navire passagers, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage 84
Tableau 24 Niveau de risque, circonscription n° 1, navire-citerne, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage 85
Tableau 25 Niveau de risque, circonscription n° 2, navire-citerne, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage 86
Tableau 26 Niveau de risque, circonscription n° 1, navire de marchandises (autre que navire-citerne), longueur de 230 mètres, selon la saison et la durée du passage 88
Tableau 27 Niveau de risque, circonscription n° 2, navire de marchandises (autre que navire-citerne), longueur de 230 mètres, selon la saison et la durée du passage 88

Liste des figures

Figure 1 Schématisation de la méthodologie 7
Figure 2 Modèle utilisé 50
Figure 3 Logigramme du modèle d'analyse de risque 51
Figure 4 Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 1, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage 93
Figure 5 Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 2, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage 94
Figure 6 Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 1, navire passagers, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage 95
Figure 7 Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 2, navire passagers, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage 96
Figure 8 Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 1, navire-citerne, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage 97
Figure 9 Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 2, navire-citerne, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage 98

1. Introduction

Le règlement de l'Administration de pilotage des Laurentides actuellement en vigueur stipule que, dans les circonscriptions n^{os} 1 et 2, deux pilotes brevetés ou titulaires de certificats de pilotage sont requis dans certaines conditions. Ces conditions réfèrent aux types et gabarits des navires, au temps de transit et à la saison de navigation.

Au milieu des années 1990, Transports Canada a entrepris de vastes consultations en vue de l'élaboration de la *Loi maritime du Canada*. Adoptée en juin 1998, cette loi abordait notamment la question du pilotage et a entraîné des changements à la *Loi sur le pilotage*. Dans la foulée de ces changements, Transports Canada a aussi reçu pour mandat d'examiner certaines questions restées en suspens en matière de pilotage. Ces questions prennent la forme de 21 recommandations qu'on retrouve dans l'*Examen ministériel de questions de pilotage demeurées en suspens*, déposé par l'Office des transports du Canada au Parlement canadien, en novembre 1999. Parmi ces recommandations, la quatrième concerne le problème de l'évaluation des conditions et des justifications du recours au double pilotage dans les zones désignées de la région laurentienne. Elle se lit comme suit :

> *«Réaliser une évaluation en fonction des risques, afin de déterminer à quel moment et dans quelles circonstances l'obligation du double pilotage est valide, à savoir celle qui s'applique à tous les navires pendant la saison hivernale, celle qui s'applique aux navires citernes de plus de 40 000 tonneaux et celle qui s'applique aux navires à passagers de plus de 100 mètres de long pour le secteur sous la responsabilité de l'Administration de pilotage des Laurentides (APL).»*

Cette recommandation fait suite à des critiques et arguments émis par des associations et regroupements concernés par le transport maritime sur le Saint-Laurent. Elle est également appuyée par le fait que l'Office des transports du Canada estime que le double pilotage ne devrait pas être imposé sans discernement. En d'autres termes, on souhaite connaître sans équivoque les conditions justifiant le double pilotage.

Rappel historique

Initialement, le double pilotage provenait d'affectations hivernales qui étaient justifiées par l'enlèvement des aides à la navigation flottantes. Au début de cette pratique, l'affectation d'un deuxième pilote pendant la période hivernale se faisait de façon non officielle. À partir du moment

où les aides flottantes à la navigation étaient enlevées, les pilotes avaient l'habitude de travailler à deux. Le deuxième pilote recevait alors une rémunération officieuse moindre que le premier pilote. Au début des années trente, une grève des pilotes éclata. Cette grève provenait du fait que les armateurs refusaient d'employer un deuxième pilote qu'ils devaient alors rémunérer. Les pilotes refusèrent donc de conduire seuls les navires. Comme la grève survint à la fin de la saison estivale, elle risquait d'entraîner l'emprisonnement des navires dans les glaces jusqu'à la saison suivante, si la grève devait se poursuivre. Les armateurs, ne pouvant se permettre une telle situation, décidèrent d'accepter la pratique du deuxième pilote avec rémunération. Si l'on se réfère au rapport Bernier (1970), la grève n'aura duré que deux jours.

En 1958, la Fédération des armateurs reconnaissait la nécessité du deuxième pilote pendant la saison hivernale, mais ce n'est qu'en 1960 que fut introduit dans la réglementation un texte concernant le double pilotage. Deux raisons justifiaient alors la présence d'un deuxième pilote. Tout d'abord, l'allongement de la durée du transit, compte tenu des glaces et des conditions climatiques difficiles. En deuxième lieu, toujours selon le rapport Bernier, le deuxième pilote venait aider le premier à identifier les aides à la navigation restantes, puisque les aides flottantes lumineuses étaient enlevées.

Cette réglementation demeurera en vigueur jusqu'à la création de l'Administration de pilotage des Laurentides (APL) en 1972. De 1972 à 1974, période au cours de laquelle l'APL publiait son premier règlement, une clause transitoire à la réglementation était appliquée. Dans la première réglementation de l'APL, un deuxième pilote était affecté au transit lorsque la durée du voyage dépassait treize heures ou lorsque l'APL estimait nécessaire un deuxième pilote. Par la suite, la réglementation fut modifiée en 1977 par décret pour obliger les navires de plus de 79 999 tonneaux à prendre un deuxième pilote entre les Escoumins et Québec.

En 1978, une autre modification obligeait les navires de plus de 63 999 tonnes de port en lourd à prendre un deuxième pilote entre Québec et Montréal. Puis, en 1980, une nouvelle modification fit passer la limite de 79 999 tonneaux à 74 999 tonneaux de port en lourd pour le secteur des Escoumins à Québec. Une modification au règlement en 1989 réduisait les heures maximales pour l'affectation d'un deuxième pilote à 12 heures consécutives pour les secteurs entre Québec et Montréal et 11 heures pour le secteur des Escoumins à Québec. La limite de 12 heures de la circonscription n° 1 fut ramenée à 11 heures en 1990. Enfin, le 7 décembre 1991, l'APL adopta les modifications concernant les navires-citernes de plus de 40 000 tonnes de port en lourd et les navires passagers d'une longueur de plus de 100 mètres dans les deux circonscriptions.

Les conditions de navigation, la taille et les caractéristiques des navires, ainsi que les équipements de navigation ont subi d'importants changements depuis l'introduction des premiers règlements en matière de double pilotage. D'un côté, les navires sont beaucoup plus performants et le système d'aide à la navigation plus fiable et plus efficace. Par contre, les transits se font toute l'année jusqu'à Montréal avec des navires de plus forts gabarits qui doivent respecter des niveaux de service beaucoup plus exigeants. C'est en tenant compte de ce nouveau contexte que la présente étude a été menée.

Réglementation actuelle

La réglementation actuellement en vigueur, en ce qui concerne le double pilotage, se lit comme suit :

35. *(1) Un seul pilote breveté ou titulaire d'un certificat est requis en tout temps à bord d'un navire; cependant, deux pilotes brevetés ou titulaires d'un certificat de pilotage sont requis pour tout navire :*

a) qui sera piloté dans la partie de la circonscription n° 1 comprise entre Montréal et Trois-Rivières ou entre Trois-Rivières et Québec et qui y fera probablement route pendant plus de 11 heures consécutives;

b) qui sera piloté dans la circonscription n° 2 et y fera probablement route pendant plus de 11 heures consécutives;

c) de plus de 63 999 t de port en lourd, dans la circonscription n° 1;

d) de plus de 74 999 t de port en lourd, dans la circonscription n° 2;

e) qui sera piloté dans la circonscription n° 1 ou la circonscription n° 2 et qui est :

i) soit un navire-citerne de 40 000 tonnes métriques de port en lourd ou plus;

ii) soit un navire à passagers de plus de 100 mètres de longueur;

f) dans la circonscription n° 1 et la circonscription n° 2, durant la période de navigation d'hiver;

g) qui, vu les conditions ou la nature du voyage, exige la présence de plus d'un pilote pour remplir les fonctions à bord du navire;

h) qui est remorqueur et qui tire ou pousse une ou plusieurs barges ou gabarres lorsque l'une de ces barges ou gabarres ou le remorqueur est assujetti au pilotage obligatoire.

(1.1) Malgré l'alinéa (1)h), un seul pilote breveté ou titulaire d'un certificat de pilotage peut être affecté à un remorqueur si les conditions suivantes sont remplies :

a) le remorqueur est accouplé pour la durée du voyage d'une façon fixe à l'arrière de la barge ou gabarre poussée en tandem ou en unité composite ou avec d'autres barges ou gabarres;

b) la barge ou la gabarre ne transporte pas de marchandises dangereuses au sens de l'article 2 de la Loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses et est conforme aux exigences de construction prévues par la partie 1 du Règlement sur la prévention de la pollution par les hydrocarbures.

(2) Aux fins de l'alinéa (1)f), l'Administration détermine la période de navigation d'hiver dans chaque circonscription de pilotage en fonction de la sécurité de la navigation, après consultation auprès de la Garde côtière canadienne, des pilotes qui sont membres d'une personne morale visée au paragraphe 15(2) de la Loi et des groupes d'armateurs intéressés, compte tenu :

a) de l'état des aides à la navigation;

b) des conditions météorologiques;

c) de la formation ou de l'état des glaces;

d) d'autres facteurs pertinents.

(3) Après avoir déterminé la période de navigation d'hiver conformément au paragraphe (2), l'Administration en informe les intéressés dans les meilleurs délais.

À cette réglementation, s'ajoute des cas de doubles affectations découlant de sentences arbitrales. Depuis avril 2000, deux pilotes brevetés doivent être affectés sur certains navires porte-conteneurs dans la circonscription n° 1. De la même façon, depuis juin 2003, deux pilotes sont affectés aux nouveaux navires porte-conteneurs de 294 mètres dans la circonscription n° 1. Dans la circonscription n° 2, sans pour autant qu'il n'y ait d'entente à ce sujet entre la Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent et l'Administration de pilotage des Laurentides, le double pilotage s'applique depuis juin 2003 sur les navires porte-conteneurs de la nouvelle génération de 294 mètres de longueur.

Objectifs de l'étude

L'objectif principal de l'étude, tel que défini dans l'énoncé des travaux de l'appel d'offres, consiste à *«réaliser une évaluation en fonction des risques, afin de déterminer à quel moment et dans quelles circonstances l'obligation du double pilotage est valide dans la région de l'APL, ainsi que la détermination de la fonction du deuxième pilote et/ou détenteur de certificat de pilotage, le cas*

échéant». Cette étude a toutefois une portée plus large que la réglementation actuelle puisqu'elle s'adresse à tous les navires déjà soumis au pilotage en vertu ou non du Règlement sur le double pilotage. Elle dépasse ainsi le cadre émis par la recommandation n° 4. Plus précisément, elle s'attarde aux questions suivantes :

- Quel est le rôle du deuxième pilote?
- Quelle est sa valeur ajoutée?
- Dans quelle mesure le deuxième pilote réduit-il le risque?
- Quand le deuxième pilote est-il vraiment nécessaire?

Cadre méthodologique : *Méthode de gestion des risques de pilotage* (MGRP)

Pour réaliser cette étude, les auteurs ont dû respecter le cadre méthodologique défini par la *Méthode de gestion des risques de pilotage* (MGRP) (Transports Canada, 2001). Cette méthode a été définie afin d'encadrer les différentes études de risque devant être menées pour répondre aux questions de pilotage restées en suspens. Elle a été conçue par le Comité directeur du pilotage, composé des directeurs généraux de chaque administration de pilotage et de représentants de la Direction des normes du personnel maritime et de pilotage de Transports Canada. La MRGP est conforme à la norme CAN/CSA-850 adoptée par l'Association canadienne de normalisation.

Rapport

Dans les pages qui suivent, le lecteur retrouvera les résultats des travaux menés par Innovation maritime et ses collaborateurs pour répondre aux questions du mandat. Dans un premier temps, le deuxième chapitre du rapport vous présente la méthodologie appliquée tout au long de l'étude. De plus, elle comprend toutes les étapes telles que présentées dans la proposition de services, bonifiées par des activités supplémentaires introduites pour permettre aux auteurs de mieux répondre au mandat qui leur a été confié.

On retrouve au troisième chapitre l'inventaire de la documentation recensée. La première partie se veut générale et traite des facteurs directement liés à l'étude. La deuxième partie concerne les facteurs humains liés au pilotage. Étant donné l'importance de ces facteurs dans l'analyse de risque, une revue particulière leur est entièrement consacrée.

Pour faire suite à l'inventaire de la documentation, le chapitre 4 vous présente une analyse statistique et spatiale. On y retrouve les résultats de l'analyse des différentes bases de données consultées. Les difficultés rencontrées lors du traitement sont aussi abordées. Soulignons, à cet égard, le fait que ces bases de données n'ont pas été constituées pour répondre aux besoins d'une analyse de risque en matière de pilotage. Cela nous a obligé à regrouper certaines d'entre elles de même qu'à effectuer plusieurs requêtes croisées. Sans prétendre à l'exhaustivité, l'analyse statistique a tout de même permis de répondre à certaines interrogations et a contribué à l'élaboration du modèle d'analyse du risque.

Le chapitre 5 porte sur l'élaboration des scénarios de risque. Ces scénarios revêtaient une importance capitale, non seulement en regard de la MGRP, mais aussi dans la construction du modèle d'analyse du risque. Les scénarios vous sont décrits, de même que la façon dont ils ont été préparés et testés.

Vient ensuite, au chapitre 6, la présentation du modèle d'analyse. Afin de répondre objectivement au mandat, le consultant a dû bâtir un outil d'analyse de risque qui intégrait les scénarios, les facteurs aggravants et les mesures d'atténuation du risque. Ce modèle répond aux exigences de la MGRP. Bien qu'il n'en soit qu'à sa première version et que des améliorations pourraient certainement lui être apportées, il constitue un outil d'analyse suffisamment développé pour guider les auteurs dans leur réflexion et l'élaboration de leurs conclusions et recommandations.

Après la présentation du modèle, suit le chapitre 7 traitant des résultats qui sont issus de son application. Vous y retrouvez, notamment, des tableaux présentant le niveau de risque selon différentes conditions et l'apport du deuxième pilote dans la réduction du risque.

Suite à cela, viennent les conclusions et les recommandations où le lecteur retrouvera les réponses aux questions que les auteurs devaient aborder.

Le rapport est complété d'une bibliographie et de différentes annexes.

2. Méthodologie

La méthodologie employée pour mener à bien la présente étude est basée sur la *Méthode de gestion des risques de pilotage* (MGRP) imposée par Transports Canada. Cette dernière comprend les neuf tâches illustrées à la figure 1. Innovation maritime a enrichi la MGRP d'une connaissance approfondie de la navigation et d'une analyse de l'implication des facteurs humains dans le processus de gestion de risque du pilotage. Innovation maritime a eu recours également à de multiples sources d'informations statistiques afin de compléter le processus de la MGRP qui repose en grande partie sur un processus ouvert de communication de l'information, permettant la rétroaction et le dialogue entre les parties intéressées. Ces axes méthodologiques ont abouti à la réalisation d'un modèle d'évaluation du risque en matière de pilotage sur lequel s'appuie l'essentiel de nos recommandations. Mentionnons que les étapes entourant le développement du modèle sont présentées plus en détails au chapitre 6. Chacune des tâches de la MGRP et les moyens employés pour la compléter sont présentés dans la présente section.

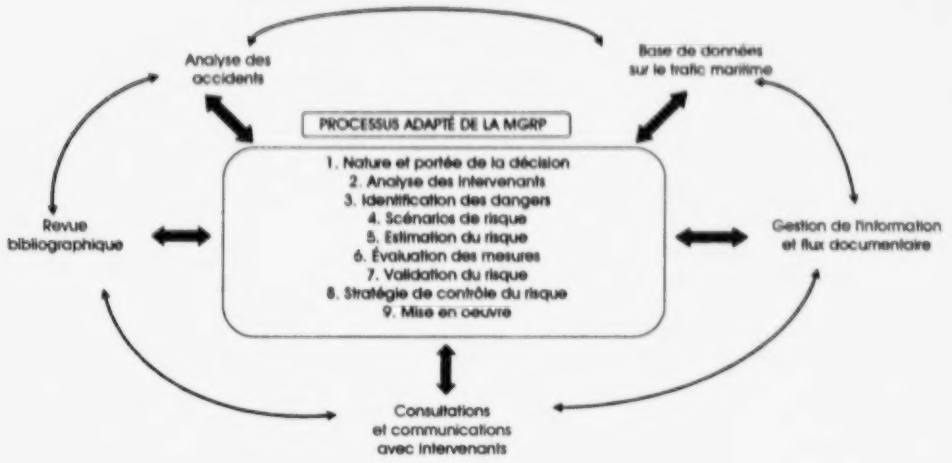


Figure 1 – Schématisation de la méthodologie

2.1 Cerner le problème ainsi que la nature et la portée de la décision à prendre

Afin d'assurer un déroulement optimal des tâches subséquentes, la première étape du mandat consistait à revoir, avec le comité directeur de l'étude[1], l'ensemble des tâches prévues et les moyens mis en œuvre pour les compléter. Au cours d'une première rencontre de démarrage, les membres du comité et Innovation maritime ont revu la problématique à l'étude, les objectifs poursuivis, la méthodologie et l'échéancier. La rencontre a également permis de mieux appréhender certaines des difficultés pouvant être rencontrées en cours de mandat. Des voyages de reconnaissances ont été ajoutées aux travaux déjà programmés. De plus, il a été convenu d'organiser une rencontre avec les principaux groupes d'intervenants afin de leur présenter les objectifs poursuivis, la méthodologie et l'échéancier. Finalement, le comité directeur a invité l'équipe de consultants à demeurer ouverte à toute demande de rencontre de la part des intervenants.

À l'issue de cette première rencontre, Innovation maritime a réalisé un nouveau plan de travail, ajusté aux préoccupations énoncées. Ce plan de travail révisé a été soumis à l'approbation du comité.

2.2 Répertorier les intervenants ainsi que leurs besoins, problèmes et préoccupations

Tel que précisé dans la MGRP, les intervenants sont définis comme étant toute personne, groupe ou organisme pouvant influer sur une décision ou une activité, ou pouvant subir ou croyant pouvoir subir l'influence d'une décision ou activité d'une administration de pilotage. Dans ce sens, l'objectif de cette deuxième étape méthodologique consistait à dresser une liste exhaustive des intervenants.

L'étape suivante de la méthode consiste à évaluer la pertinence de chaque intervenant dans le processus d'évaluation du risque. L'identification des besoins, des problèmes et des préoccupations (BPP) de chacun des intervenants a été réalisée par le biais d'une enquête téléphonique, de laquelle a été tirée une feuille de travail individuelle où l'on retrouve :

- Les conséquences qu'aurait un changement réglementaire en matière de double pilotage auprès de l'intervenant;
- une recommandation (justification) relative à la nécessité de demander sa participation.

[1] Le comité est formé de représentants de l'Administration de pilotage des Laurentides, de la Direction générale de la sécurité maritime et du Centre de développement des transports de Transports Canada.

De cette première consultation téléphonique, ont découlé des rencontres individuelles ou de groupe, notamment avec les corporations de pilotes ou le Comité de pilotage de la Fédération maritime du Canada. Les intervenants furent ainsi répertoriés selon leurs BPP et contactés par Innovation maritime pour leur signifier leur intégration dans le processus de consultation de la MGRP.

Une rencontre supplémentaire d'information auprès des intervenants a également été programmée à la demande du comité directeur. Cette rencontre qui a eu lieu le 29 octobre 2003 a permis de présenter directement l'équipe d'Innovation maritime et d'expliquer le mandat et la méthodologie de l'étude.

2.3 Déterminer les dangers reliés aux situations nécessitant le double pilotage

Cette tâche consistait à établir une liste et une description des dangers qui nécessitent le double pilotage. Pour ce faire, Innovation maritime a réalisé une revue de la littérature relative au pilotage qui fait l'objet du chapitre 3. De plus, trois voyages de reconnaissance ont eu lieu dont deux en octobre et un en décembre 2003.[2]

Les rapports du Bureau de la sécurité des transports (BST) du Canada, concernant les accidents maritimes, ont servi de base pour l'établissement d'un inventaire des accidents et des facteurs de risque. La collecte des informations relatives aux accidents maritimes ne s'est pas limitée aux expériences canadiennes. Innovation maritime a effectué également des recherches pour identifier des rapports d'accidents maritimes survenus à l'échelle internationale. Cette étape a permis d'étendre l'inventaire des risques et des conséquences à des préoccupations qui n'avaient pas encore été soulevées sur le Saint-Laurent. Chaque danger naturel, humain ou technique a donc été recensé à partir d'une analyse détaillée des accidents.

Parallèlement, Innovation maritime a procédé à la constitution d'une base de données sur les incidents/accidents de navigation sur le Saint-Laurent, ainsi qu'à l'étude des conditions de navigation. Ayant déjà accès aux données historiques du système de collecte et d'affichage des données (*Data Acquisition and Display System* – DADS) de la Garde côtière canadienne, nous les avons intégrées à celles provenant de la base de données MARSIS sur les accidents/incidents du BST. Innovation maritime a donc été en mesure de retracer chaque voyage de navire et mouvement à l'intérieur d'un voyage lors duquel un incident/accident s'est produit. Ayant identifié les causes à l'origine des

---

[2] Un premier voyage sur un navire de type passagers entre Québec et Montréal, un deuxième sur un navire porte-conteneurs entre Trois-Rivières et Québec, puis un dernier plus tard au cours du mandat à bord d'un vraquier entre les Escoumins et Québec (*Regal Princess*, *Canmar Hounour*, *Yithan*).

accidents, des analyses sur les périodes et les conditions de navigation sur le Saint-Laurent, sur l'opération des navires et sur la qualification du personnel, ont ensuite été faites. Cette démarche a permis d'établir une prévalence de risques selon des facteurs tels que la taille, le type, l'âge ou la nationalité du navire, mais également en fonction des conditions environnementales.

Lors de l'analyse, nous nous sommes plus particulièrement attardés à l'étude des risques liés aux facteurs humains. À cet égard, nous avons cherché à mieux apprécier la charge de travail qui pèse sur le personnel naviguant, en particulier sur les pilotes. Les situations de navigation sous la responsabilité d'un pilote, de deux pilotes, d'un commandant ou des officiers sur le Saint-Laurent ont été prises en considération. Bien que les risques associés au navire ou aux conditions environnantes soient des facteurs importants dans l'imposition d'un deuxième pilote/détenteur de certificat de pilotage, il était essentiel d'examiner l'interaction entre l'élément humain et les composantes environnementales et opérationnelles déterminant le niveau de sécurité et d'efficacité. L'analyse et l'évaluation des risques se basent sur les tâches du ou des pilotes, ainsi que celles des officiers de quart et des timoniers.

Le processus permettant d'analyser les facteurs humains dans l'ensemble des risques liés au double pilotage a nécessité une évaluation approfondie des conditions à l'origine des erreurs. Ce processus a aussi tenu compte des types d'erreurs ainsi que des capacités humaines. À partir de cette analyse, l'équipe d'Innovation maritime a débuté le développement d'un modèle d'évaluation du risque basé sur les facteurs humains.

Suivant cette étape, une première ronde de consultation, tenue les 11 et 20 novembre 2003, a été réalisée auprès des intervenants afin de recueillir leurs commentaires sur les facteurs de risque pouvant justifier un deuxième pilote. À partir de ces rencontres, Innovation maritime a été en mesure d'identifier, de façon claire et précise, les dangers et les risques. Cette consultation a également permis d'organiser une rencontre de travail avec le comité directeur.

2.4 Élaborer des scénarios de risque pour les dangers déterminés

Le travail de cette quatrième étape se décompose en trois parties distinctes et complémentaires. En premier lieu, une analyse préliminaire a permis d'établir des priorités dans les risques identifiés dans l'étape méthodologique précédente. Ensuite, l'élaboration des scénarios de risque, pour chacun des dangers, a été réalisée à l'aide de deux méthodes distinctes. La première repose sur la construction d'arbres de défaillances pour les défaillances mécaniques et opérationnelles. La deuxième utilise la

technique HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*) pour l'erreur humaine. Enfin, les scénarios ainsi développés ont été reproduits et analysés par simulation sur le simulateur de navigation de l'Institut maritime du Québec. Mentionnons que l'élaboration des scénarios est traitée plus en détails au chapitre 5.

2.4.1 Analyse préliminaire

Chacun des dangers identifiés au chapitre 3 a fait l'objet d'une évaluation préliminaire de façon à les prioriser. Ce type d'évaluation permet d'obtenir une évaluation qualitative du risque. La «priorisation» des dangers a été réalisée à l'aide d'abaques de fréquences et de conséquences en tenant compte des éléments suivants :

- les processus associés au danger;
- les incidents antérieurs;
- les contrôles administratifs et opérationnels;
- les conséquences des défaillances des contrôles administratifs et opérationnels;
- les erreurs humaines.

Chacune des conditions nécessitant un double pilotage s'est vue attribuer un ou des évènements indésirables (dangers). Cette information a été compilée à l'aide d'un tableau semblable au tableau 1 :

Tableau 1 – Conditions et dangers

Conditions	*Dangers*
Fort courant	Échouement
Circulation maritime abondante	Collision
Défaillance du système de localisation	Échouement
Mauvaise condition climatique	Perte de contrôle du navire

L'information permettant de compléter le tableau 1 provient des données obtenues lors de la réalisation de l'étape 3 et des discussions avec les intervenants, afin de mettre à contribution leurs expertises et de prendre en compte leurs BPP (besoins, problèmes, préoccupations).

Les conséquences associées à chacun des dangers sont classées en fonction de leur effet sur :

- la santé et la sécurité des employés;
- la santé et la sécurité du public;

- l'environnement;
- la productivité;
- les pertes en termes d'équipement;
- le chiffre d'affaires.

Chacun des dangers a ensuite été classé en différentes catégories de fréquence et de conséquence.

2.4.2 Méthode quantitative

La méthode quantitative se décompose en deux approches complémentaires afin d'élaborer des scénarios associés au danger comportant un niveau de risque moyen et élevé. L'arbre de défaillances a permis d'identifier une combinaison d'erreurs et de défaillances mécaniques conduisant aux dangers, tandis que la «*Human Error Assessment and Reduction Technique*» (HEART) aboutit à l'analyse des aspects reliés aux erreurs humaines. Parallèlement aux développements des scénarios, l'équipe du consultant a programmé un modèle qui permettra d'évaluer le risque pour chacun des scénarios d'accident.

Arbres de défaillances

L'élaboration des scénarios a été réalisée à l'aide des données historiques disponibles, les commentaires collectés auprès des intervenants et l'expertise des membres de l'équipe d'Innovation maritime. Pour chacun des dangers ou évènements indésirables comportant un risque moyen et élevé (identifié par l'entremise de l'analyse préliminaire et validé par les intervenants), un arbre de défaillances a été élaboré. Cette méthode a permis de traiter l'information disponible sur une base quantitative.

Chacun des événements indésirables a été décomposé en évènements intermédiaires, eux-mêmes décomposés en d'autres causes (défaillances primaires), jusqu'à ce que toute nouvelle décomposition devienne impossible ou inutile. Cette décomposition s'est effectuée à l'aide d'opérateurs logiques tels que «ET» et «OU», afin de lier les séquences d'évènements entre elles. Cette méthode graphique a fourni une description systématique des combinaisons d'évènements possibles pouvant entraîner un danger, ainsi que les interactions entre les divers éléments contribuant à une conséquence négative. Elle a d'ailleurs été reproduite à l'intérieur du modèle d'analyse de risque.

Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)

Le processus permettant d'analyser la composante de l'erreur humaine dans l'ensemble des risques liés au double pilotage nécessite une compréhension détaillée des conditions qui prévalent et qui sont à l'origine de l'erreur. Ce processus tient aussi compte des types d'erreurs qui déterminent ces conditions ainsi que des capacités humaines. À partir de ces informations, fut développée le diagramme d'erreurs qui détermine les probabilités de survenance pour chaque erreur qui pourrait se produire pour un scénario donné. Nous avons utilisé une version ajustée de la *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART) en relation avec les influences pondérées des facteurs listés dans le tableau 2.

Tableau 2 – Principaux facteurs pour l'évaluation des risques liés aux tâches des pilotes

Facteurs reliés au pilote :	*Facteurs externes :*
1. Formation 2. Motivation 3. Fatigue 4. Expérience 5. Stress personnel	1. Conditions locales (géographiques) 2. Caractéristiques et état du navire 3. Conditions météorologiques 4. Trafic 5. Connaissance et utilisation de l'anglais et du français par les membres de l'équipage 6. Qualifications de l'équipage 7. Conditions de l'équipage (fatigue ou autres) 8. Plan de passage

Ce processus implique les étapes suivantes :

- Examen des rapports d'accidents pour identifier les scénarios potentiels qui impliquent la contribution humaine et les types d'erreurs à l'origine de chaque accident;
- Identification des scénarios représentatifs des conditions d'opération et de travail;
- Analyse des tâches de navigation et de pilotage réalisées par chaque pilote ou le commandant durant ces scénarios afin de déterminer le flux des tâches de travail, des équipements et du personnel impliqué, les ressources physiques et cognitives requises pour réaliser le travail et la nature de l'environnement où ces activités ont été assurées;
- Analyse des modes d'erreurs, des effets et des causes potentielles afin d'identifier les erreurs potentielles qui pourraient se produire pour chaque scénario, les conditions à l'origine de ces erreurs, les conséquences et les possibilités pour y remédier;
- Développement des scénarios basés sur le diagramme des fautes qui illustre les liens avec les conséquences et les probabilités de survenance de ces erreurs;

- Rapport qui décrit les principaux scénarios, les types d'erreurs, les possibilités de leur survenance, ainsi que les chances d'aboutir à des conséquences critiques, tout en considérant les conditions qui prévalent au moment de la survenance et la comparaison des deux conditions (navires avec deux pilotes/détenteurs de certificat de pilotage qualifiés *versus* un seul pilote).

Les analyses ont été menées tout en prenant en considération les facteurs pertinents pour aboutir aux informations sur les tâches, les modes d'erreurs, les causes potentielles et l'établissement de la pondération des facteurs.

2.5 Affecter un niveau de risque à chaque conséquence négative

Un niveau de risque a été identifié pour chacune des deux approches et pour chaque conséquence négative retenue dans les étapes de travail précédentes. Une somme d'incertitudes sur les données historiques et disponibles dans les statistiques officielles a été également prise en compte au moment de l'élaboration du modèle d'analyse.

2.5.1 Arbre de défaillances

Chacun des évènements identifiés dans un arbre de défaillances s'est vu attribuer une probabilité de façon à pouvoir calculer la probabilité du danger. Ces valeurs ont été obtenues à partir des données historiques, des informations relatives aux équipements, aux types de navires, etc. Elles ont été induites également par l'utilisation du modèle d'évaluation du risque.

2.5.2 Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)

L'évaluation du risque a été réalisée en fonction des caractéristiques du navire (taille, jauge, type, etc.) et des caractéristiques du voyage incluant les conditions de navigation. Dans cette optique, cette étape a été réalisée par l'application du modèle et analysée de façon étroite avec les statistiques récoltées sur le nombre et le type d'accidents, notamment les échouements et les collisions.

Dans un diagramme récapitulatif qui a servi à la programmation du modèle, on retrouve les différentes causes essentielles et sous-jacentes des accidents ayant un rapport direct avec les conditions du voyage, les qualifications du personnel, les conditions d'opération et les caractéristiques du navire.

Pour conclure sur cette étape méthodologique, plusieurs éléments ont été considérés dans l'affectation potentielle du niveau de risque, soit :

- l'incertitude liée à l'applicabilité de données historiques à des situations actuelles, en tenant compte notamment des changements technologiques et des nouvelles pratiques de gestion des équipements et des matériels;
- l'incertitude liée à la disponibilité de données incomplètes en relation avec le recensement non exhaustif de tous les événements de risques, ce qui a pour conséquence de minimiser historiquement le niveau de risque.

2.6 Évaluer les mesures de prévention actuelles et la réduction du risque

L'évaluation des mesures d'atténuation actuelles et leur capacité à réduire le risque à un niveau acceptable demande de comparer les besoins, les préoccupations et la problématique (BPP) des intervenants avec les niveaux de risque déterminés à la tâche précédente. En outre, la compréhension des mesures d'atténuation, ainsi que leur applicabilité ou leur capacité à diminuer les risques, demandent une excellente connaissance du milieu pour lequel elles ont été développées. Pour ce faire, Innovation maritime a mis à profit l'expérience et l'expertise de ses professionnels reconnus en matière de navigation. Ces derniers ont, pour chaque scénario de risque, identifié et évalué l'efficacité des mesures physiques ou administratives de prévention. Afin de faciliter l'analyse, chaque mesure a été évaluée selon son effet estimatif sur la fréquence et la gravité du scénario.

Une fois que chaque mesure et son efficacité eurent été déterminées, une liste exhaustive des mesures a été soumise aux intervenants, pour fins de validation, lors d'une deuxième ronde de consultation qui s'est tenue les 17 et 18 février 2004. Les réponses obtenues ont permis de déterminer si les mesures d'atténuation sont efficaces et réalisables. À l'instar de la première consultation, celle-ci a conduit à l'organisation de la rencontre d'étape du quatrième jalon.

2.7 Valider les dangers, scénarios de risque et mesures de prévention

Ce jalon méthodologique vise à valider les analyses effectuées tout en les confrontant aux résultats obtenus par le modèle d'analyse de risque. Pour ce faire, des observations à bord de trois navires qui transitaient dans les circonscriptions n^{os} 1 et 2 ont été réalisées :

- le premier voyage a été effectué le 10 mars 2004 à bord du pétrolier *Bulduri* de Trois-Rivières à Montréal et comprend la manœuvre d'accostage;
- le deuxième a été effectué le 11 mars 2004 sur le vraquier *Vola No.1* entre Montréal et Trois-Rivières;
- le troisième s'est déroulé le 12 mars 2004 entre les Escoumins et Québec sur le porte-conteneurs *Canmar Venture*.

Le choix d'effectuer trois voyages distincts relève du fait qu'une quantité substantielle d'observations devaient être effectuées à bord des navires. Un expert en navigation et un deuxième en analyse de risque ont participé à ces voyages afin de couvrir un maximum d'aspects. Ces voyages ont été suivis d'une rencontre avec le comité directeur.

2.8 Déterminer la meilleure option de contrôle du risque

Cette tâche consiste à dresser une liste des options réalisables de contrôle du risque, d'évaluer ces dernières en fonction des BPP des intervenants, ainsi que des objectifs du projet pour enfin, recommander une option en matière de double pilotage.

Dans le cas de l'identification des options réalisables, chaque mesure d'atténuation, qu'elle soit physique ou administrative, a été évaluée en fonction de sa propension à diminuer la probabilité d'exposition ou la gravité des conséquences découlant du risque. Pour évaluer l'incidence de ces décisions sur la probabilité et la gravité des risques, Innovation maritime a misé sur l'expertise des membres de l'équipe en matière de facteurs humains et de navigation. Ces derniers, par l'utilisation du modèle d'évaluation du risque développé tout au long du mandat, ont été en mesure d'évaluer la probabilité et la gravité découlant des scénarios établis.

L'évaluation de l'incidence des options sélectionnées sur les BPP des intervenants a été validée lors d'une troisième ronde de consultation avec les différents groupes d'intervenants qui a eu lieu les 25 et 26 mars 2004.

2.9 Préparer un plan de mise en œuvre efficace

Bien que cette tâche relève de l'APL, Innovation maritime a néanmoins la responsabilité de soumettre au comité la meilleure option relative à quel moment et dans quelles circonstances le double pilotage devient nécessaire, ainsi que de déterminer quelle est la fonction du deuxième pilote, détenteur d'un certificat de pilotage. En termes de produits livrables, Innovation maritime dépose ce

rapport final comprenant les réponses à ces questions au Centre de développement des transports (CDT) de Transports Canada.

Mentionnons, en terminant, que tout au long du projet, l'équipe d'Innovation maritime s'est réunie à plusieurs reprises et a tenu des sessions de travail par conférence téléphonique sur une base quasi hebdomadaire pour faire un suivi des travaux, solutionner les problèmes rencontrés, mais surtout, discuter des questions de fond entourant le double pilotage et le développement du modèle d'évaluation du risque.

3. Revue de la littérature sur le double pilotage

L'information recueillie pour l'élaboration de ce document provient d'une importante revue de la littérature couvrant les quatre grands thèmes de l'étude, soit le pilotage, les accidents maritimes, les impacts environnementaux et les facteurs humains. Les principales sources bibliographiques consultées relèvent d'études spécialisées, de rapports gouvernementaux, d'articles de professionnels issus de publications spécialisées, de mémoires proposés par les différents groupes d'intervenants et de jugements d'arbitrage. La revue de la littérature, initiée au début du mandat, a été continuellement alimentée des divers documents publiés ou recensés au cours de l'étude.

3.1 Le pilotage

Le document de référence de base sur le pilotage est le *Rapport de la Commission royale d'enquête sur le pilotage* (Bernier, 1970). Ce rapport jette les bases de la réglementation actuelle sur le pilotage. Plus particulièrement en ce qui a trait à la présente étude, il est intéressant de citer ce passage «*La sécurité de la navigation exige l'affectation simultanée de deux pilotes à la fin de la saison normale de navigation, dès que les risques de navigation sont notablement accrus par la venue de l'hiver, soit lors de la formation des glaces et l'enlèvement des aides à la navigation; il en est de même au début de la saison*», à cela s'ajoute l'extrait suivant: «*Si l'hiver est tardif, il est illogique et inutile d'affecter deux pilotes à partir du 1er décembre...*». Dans le même ordre d'idée, on retrouve cet autre extrait «*D'autre part, un hiver précoce oblige à retirer les bouées avant le 1er décembre, et il serait malavisé de ne pas affecter deux pilotes pour la seule raison que la date fixée dans le règlement n'est pas encore arrivée...*».

Lors de la publication du rapport Bernier, les navires qui sillonnaient le Saint-Laurent étaient bien différents de ceux que l'on retrouvent présentement dans ces mêmes eaux. Les dimensions des navires étaient moindres, la conception des coques et des machines était différente et les équipements de navigation étaient beaucoup moins performants. Considérant ces facteurs, il s'avère évident que la problématique actuelle reliée au double pilotage est très différente de celle qui existait au moment du rapport Bernier. Mais, il n'en demeure pas moins que certains éléments de la problématique étudiés dans le rapport Bernier demeurent toujours d'actualité et doivent être réévalués périodiquement.

Le rapport d'enquête de Guy P. Dancosse, (Dancosse, 1993) sur la modification du règlement de l'Administration de pilotage des Laurentides traitant de l'affectation de deux pilotes à des navires qui

sont assujettis au pilotage obligatoire, présente une analyse approfondie sur la question du double pilotage. À la lumière de ce rapport, le lecteur est à même de constater que la problématique découle du fait qu'un équilibre doit être trouvé entre sécurité et efficacité des opérations de pilotage. Ce rapport nous amène à comprendre de quelle façon la problématique mine les relations entre les intervenants. Dans ses recommandations, M. Dancosse affirme : «*Je crois qu'il y a de la place pour l'amélioration et qu'une approche imaginative permettra aux parties d'en arriver aux solutions qui s'imposent*». Pour finir, l'auteur souligne que les prochaines négociations «*doivent être abordées avec un esprit créatif et réaliste*». Le lecteur en comprend qu'il existe une situation conflictuelle entre deux groupes d'intervenants. Le rapport recommande de maintenir les exigences se rapportant au double pilotage et, de plus, considère que l'Administration de pilotage des Laurentides doit, en cas de litige, prendre des décisions dans l'intérêt de la sécurité de la navigation.

Plus récemment, la problématique du double pilotage a ressurgie sous un nouveau jour. L'arrivée de nouveaux types de navires porte-conteneurs de fort gabarit dans les eaux du Saint-Laurent a relancé les débats, a créé une nouvelle problématique. Les documents les plus récents traitant du double pilotage dans la région des Laurentides abordent la question de ces navires spéciaux de fort gabarit. Plus particulièrement, le jugement rendu par le tribunal d'arbitrage concernant l'arrivée des nouveaux navires *Canmar Pride* et *Canmar Honour* (17 avril 2000), aborde la question de ce type particulier de navire. Les experts qui ont soumis des rapports à ce tribunal d'arbitrage ont soulevé des arguments valables et pertinents. Cependant, la décision rendue ne s'est pas basée sur les rapports d'experts, mais sur une clause contractuelle liant l'Administration de pilotage des Laurentides et la Corporation des pilotes du Saint-Laurent central.

Enfin, dans le même ordre d'idée, un rapport d'étape intitulé *Évaluation de l'impact potentiel des nouveaux navires porte-conteneurs de 294 m de longueur sur la sécurité de la navigation et la protection de l'environnement* (Transports Canada, 2003), a été publié. Ce rapport analyse la même problématique que celle du jugement d'arbitrage, mais pour un navire ayant un gabarit supérieur. L'analyse porte sur des considérations techniques visant à évaluer les impacts potentiels sur la sécurité.

Après avoir considéré une importante quantité de documents et de rapports, nous sommes à même de constater que la problématique actuelle relève d'une confrontation entre des intervenants sur la base de la négociation menant à établir des compromis entre la sécurité et l'efficacité du service de pilotage. Comme les rapports tendent à se conforter dans une position qui reflète une promotion de la sécurité, il est évident que les intervenants, prônant un service plus efficace, se sentent lésés dans les décisions rendues. Il en résulte une vive critique de la réglementation actuelle.

Cette situation nous amène à considérer que l'avenue la plus acceptable, pour les deux groupes d'intervenants, consiste à effectuer une analyse de risque objective et de trouver des mécanismes permettant de répartir, de façon juste et efficace, les ressources allouées au pilotage. Cette approche semble être la seule permettant d'en arriver à un niveau de compromis équitable, pouvant satisfaire toutes les parties concernées par l'application du double pilotage.

3.2 Accidents et incidents

L'analyse des accidents et incidents à partir de la littérature disponible a été entreprise en fonction de la nature des documents de références consultés. Tout d'abord, les rapports d'accidents, tant canadiens qu'étrangers, furent investigués. Ensuite, un accent particulier a été mis sur les navires à proprement parler avec une appréciation des accidents et incidents en fonction de la dimension et du type de navire. À cela s'ajoute une exploration de la documentation concernant les aides et la voie navigable. Pour finir, une recherche documentaire sur les facteurs en cause dans un incident tels que les conditions environnementales, les équipages, la nationalité du navire, les inspections et le contrôle de l'état du port, a été réalisée.

3.2.1 Rapports d'accidents

Dans un premier temps, les rapports du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) ont été inventoriés et analysés en fonction de l'implication d'un ou de deux pilotes dans le secteur de pilotage concerné ou encore dans un secteur semblable. Des recherches ont aussi été menées auprès des organismes suivants : Marine Accident Investigation Branch (UK), Marine Board of Victoria et Transport Accident Investigation Commission New Zealand. Les rapports d'enquête sur l'échouement du *Halifax* (M91L3015) (BST, 1991c) et sur le talonnage de *Irving Nordic* (M91L3012) (BST, 1991b) près de Grondines ont été analysés et repris lors d'expériences par simulation dans le but de revoir la chaîne d'erreurs et les facteurs humains. Ceci a permis de reproduire certains accidents lors de l'élaboration des scénarios.

Bien entendu, le rapport récent du *Norwegian Sky* (M99L0098) (BST, 1999c) a fait l'objet d'une analyse poussée. Il en va de même pour le cas de l'*Alcor* (M99L0126) (BST, 1999d) qui ressemble à l'un des scénarios qui a été élaboré dans cette étude. Pour finir, plusieurs autres rapports ont soulevé plus particulièrement notre attention. Notons entre autres :

- L'échouement du *Transaspiration*, rapport très intéressant sur le plan de la fatigue (M93W0011) (BST, 1993c);

- La presque collision entre le *Statendam* et le remorqueur *Belleise Sound/Radium* 622 (M96W0187) (BST, 1996);
- La collision entre le *Nirja* et le *Hamilton Energy* (M93C003) (BST, 1993a);
- L'échouement du *Olympic Mentor* (M95C0120) (BST, 1995a), mauvaise vision et fatigue;
- Le cas du *Canadian Explorer* (M93L0001) (BST, 1993b), où le pilote s'est endormi aux petites heures du matin;
- La collision entre le *Cicero* et le *Ziemia Zamojska* (M95L000) (BST, 1995b);
- L'échouement du *Algolake* (M98C0066) (BST, 1998a), où l'on observe une faiblesse dans la manière de naviguer;
- L'échouement du *Sunny Blossom* (M99C0027) (BST, 1999b), causé par un manque de communication sur la passerelle;
- L'échouement du *Paterson* (M99C0003) (BST, 1999a), où un seul officier pilotait le navire;
- L'échouement du *Enerchem Fusion* (M90L3011) (BST, 1990), où l'on relève une mauvaise communication entre le capitaine et le pilote;
- Le talonnage du *Irving Nordic* (M91L3012) (BST, 1991b), causé par la distraction du pilote;
- La collision entre le *Canadian Explorer* et le *Lafrenais* (M91L3031) (BST, 1991a), intéressant sur les besoins de communication entre navires en eaux restreintes;
- Le passage rapproché entre le *Irving Canada* et le *Terra Nova* (M92L3028) (BST, 1992), qui démontre le risque que pose un manque de connaissances locales.

L'analyse de ces rapports nous a permis de bien saisir les événements menant à un accident et de les intégrer dans l'élaboration de scénarios.

3.2.2 Le navire

Dès le début de notre analyse statistique, nous avons observé qu'il y avait de fortes corrélations entre les causes d'accidents maritimes et les caractéristiques du ou des navires impliqué(s) dans ces mêmes accidents. Nous avons constaté que le navire a une influence directe sur le niveau de risque. Ces résultats ont permis d'orienter notre revue de la littérature vers des ouvrages et rapports portant sur l'interaction entre la manoeuvrabilité des navires et leurs dimensions. Deux rapports préparés par le U.S. Coast Guard Research and Development Center et Ship Analytics Inc., pour le compte de la U.S. Coast Guard et du U.S. Department of Transportation, ont particulièrement attiré notre attention :

- *The effect of ship inherent controllability on pilot performance: evaluation and prediction*, CG-D-10-93 (US Coast Guard, 1991).

- *The effect of ship inherent controllability on pilot performance: the simulator experiment*, CG-D-10-90 (US Coast Guard, 1990).

Ces études qui portent sur l'évaluation et la prédiction du comportement d'un navire, démontrent clairement le niveau de précision qu'il est envisageable d'atteindre par la simulation de la manoeuvrabilité d'un navire. De cette analyse, il s'avère tout aussi faisable d'évaluer, à l'aide d'une approche mathématique rigoureuse, les performances d'un navire. Les résultats de ces études confirment donc qu'il est possible de classifier la manoeuvrabilité d'un navire à partir de ces caractéristiques et ainsi obtenir un indice de la potentialité de risque que peut représenter un certain navire.

Afin d'étoffer notre recherche, nous avons consulté des documents provenant de systèmes de simulation et modélisation, entre autres, des documents de la firme Kongsberg Norcontrol Simulation. Les informations concernant les modèles de navires et les tests effectués sur ces mêmes navires ont permis d'intégrer, dans notre modèle d'évaluation de risque, les facteurs *dimension* et *manoeuvrabilité* du navire.

Nonobstant la manoeuvrabilité du navire et sa dimension, l'état général d'un navire peut aussi avoir un impact majeur sur le risque d'accident. Dans cette optique, des rapports et des études sur ce sujet ont été consultés. Notons, entre autres, les rapports annuels de la Direction générale de la sécurité maritime de Transports Canada portant sur le contrôle des navires par l'État du port (Transports Canada, 2002), ainsi que diverses publications de l'Organisation maritime internationale (OMI) sur le contrôle de l'état du port et des publications du Nautical Institute. Les informations collectées ont permis de dresser un portrait des relations entre les inspections de navires, leur détention, leur conformité, leur pavillon et les accidents maritimes. De plus, à la lumière de ces informations, le modèle d'estimation du niveau de risque a été ajusté de façon à tenir compte de cette réalité.

3.2.3 *Aides à la navigation et dimensions du chenal*

Dans la dimension «environnement physique», certains éléments peuvent être aménagés ou améliorés de façon à faciliter la navigation et ainsi permettre de diminuer le niveau de risque attribué au passage d'un navire dans un secteur particulier. Les aides à la navigation déployées constituent un moyen concret pour faciliter la navigation dans presque toutes les circonstances, tant physiques que climatiques. De la même façon, le fait de modifier les dimensions d'un chenal, que ce soit la profondeur ou la largeur, contribue directement à faciliter le passage d'un bâtiment dans un secteur.

C'est dans cet esprit que le système d'aide à la navigation que l'on retrouve dans les secteurs intéressés a été étudié. Le système d'aide à la navigation que l'on retrouve sur le Saint-Laurent est opéré et entretenu par la Garde côtière canadienne (GCC). Il s'agit d'un système moderne et complexe comprenant des aides électroniques, des aides physiques fixes et flottantes qui doivent être modifiées de façon saisonnière. Concrètement, la GCC doit procéder à l'enlèvement des bouées lumineuses pour la période hivernale afin d'éviter leur endommagement par les glaces. Les bouées lumineuses sont remplacées par des espars qui permettent de délimiter le chenal de façon visuelle (le jour) quand les glaces ne recouvrent pas le plan d'eau. Les espars sont aussi repérables par radar, mais offrent un écho radar de loin inférieur aux bouées d'été, plus grosses et équipées de réflecteurs radar. Il faut aussi mentionner que les espars, souvent immergés sous la glace, ne permettent pas d'intégrer des équipements lumineux ou des réflecteurs radar efficaces.

Le passage d'une saison estivale à une saison hivernale oblige la GCC à réduire les aides à la navigation, ce qui contribue directement à augmenter le niveau de risque à la navigation. Ces circonstances contribuent à justifier l'emploi d'un deuxième pilote. Le document *Méthode de conception fondée sur le risque pour les aides à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent*, (Judson et al., 1999) a permis d'établir clairement la relation entre le niveau de risque et les aides physiques employées.

Puisque les aides électroniques à la navigation maritime sont disponibles dans les secteurs concernés par cette étude, une recherche fut entreprise sur ce type d'aide en incluant les RACONS, le positionnement DGPS, la carte électronique, le système AIS, etc. Dans les documents consultés, on retrouve, entre autres, le *Rapport sur les essais de systèmes portatifs DGPS sur le Saint-Laurent* (Garde côtière canadienne, 2001).

La documentation consultée a permis de bien évaluer l'importance d'un système d'aide à la navigation efficace dans la gestion du risque. À la lumière des informations recueillies, l'élément d'aide à la navigation a été pris en considération dans les mesures d'atténuation de risque présentées aux intervenants, tout comme dans les facteurs aggravants. L'item «aide à la navigation» a aussi été pris en considération dans le modèle d'évaluation du risque qui a été developpé.

Les dimensions d'un chenal, tout comme les dimensions du navire, ont un impact direct sur le niveau de risque d'incident lors d'un transit. On retrouve dans le document sur les *Lignes directrices sur les manœuvres dans les voies navigables canadiennes : paramètre de conception d'un chenal* (Garde côtière canadienne, 1999), l'analyse de deux grands secteurs soit : Escoumins à Québec et Québec

à Montréal. Ces deux secteurs exigent un niveau d'effort différent pour les navigateurs. Ils possèdent chacun des sections où la voie navigable n'est pas un chenal naturel, mais un chenal artificiel dragué et entretenu avec des dimensions minimales restreintes. Dans le tronçon des Escoumins à Québec, on retrouve la Traverse Nord qui possède une largeur minimale de 305 mètres avec une profondeur maximale de 12,5 mètres au zéro des cartes. Dans le tronçon de Québec à Montréal, on retrouve une largeur minimale de 230 mètres et 11,3 mètres de profondeur. Ces limites physiques engendrent des effets plus difficiles à paramétrer comme le *squat*, effet de bande et autres qui diffèrent d'un navire à l'autre. Pour appuyer la démarche d'analyse sur les dimensions de chenal, le document *Approach Channels A Guide for Design* (PIANC, 1997) a été consulté.

3.2.4 Facteurs externes

Bien entendu, tous les éléments affectant la bonne conduite du navire tels que les courants, le vent et les glaces ont été pris en compte dans l'évaluation du risque. Pour ce faire, nous avons consulté des documents qui portaient sur les effets mesurables de ces facteurs. Entre autres, nous pouvons citer les divers documents (non publiés à grande échelle) de Norcontrol sur la programmation des facteurs et de leurs effets ou encore *Ship Bridge Simulators* du Capitaine Henk Hensen (Hensen, 1999) qui présente des modèles mathématiques d'estimation de l'impact du vent sur la conduite de différents navires.

Enfin, une autre considération non négligeable en ce qui a trait au risque relié à la navigation, provient des effets environnementaux. Nous avons donc consulté des documents reliés à ces facteurs, entre autres, les *Atlas de courant* publiés par le Service hydrographique du Canada, ainsi que les *Cartes climatologiques* publiées par Environnement Canada. Il est important de prendre en considération que les secteurs de navigation considérés par l'étude sont affectés de façon complètement différente par les courants marins et les conditions climatiques. Des Escoumins à Trois-Rivières, on retrouve des courants de marée qui changent de direction de façon semi-diurne, tandis qu'en amont de Trois-Rivières, il est possible de considérer les courants comme constants. Le fait d'avoir des courants constants ainsi qu'un niveau d'eau plus stable permet de diminuer le niveau de risque.

Parmi les autres facteurs externes, notons les effets de brouillage issus des conditions climatiques et les conséquences du bruit. Il s'agit, entre autres, de la brume, la pluie et la neige qui affectent la visibilité ainsi que la réception de signaux électroniques, tant par le radar que par d'autres équipements de

positionnement électronique. La difficulté dans la gestion de ces intrants provient du fait qu'ils sont imprévisibles, souvent localisés et/ou en mouvement et/ou de durée variable.

3.3 Impacts environnementaux

La *Méthode de gestion des risques de pilotage* (MGRP) définit un scénario de risque comme étant une «série d'événements[3] auxquels sont associées une fréquence[4] et des conséquences[5]» (Transports Canada, 2001). Ces événements ont chacun leurs causes et leurs sources propres, soit les dangers.

3.3.1 Identification des dangers

Dans une analyse de risque, il est essentiel de décomposer les événements jusqu'aux dangers et, parfois, jusqu'à la source de certains de ces dangers. Cette analyse en profondeur permet d'identifier tous les facteurs contribuant à l'événement et aggravant les conséquences de ce dernier. Elle permet également, par une meilleure compréhension de l'ensemble des paramètres, de mieux évaluer les deux composantes du risque, soit la probabilité d'occurrence[6] de l'événement et la gravité de ses conséquences.

La MGRP définit un danger comme étant la «source de dommages potentiels ou situation pouvant entraîner des blessures, des problèmes de santé ou des dommages aux biens, à l'environnement ou autres valeurs, ou encore une combinaison de telles conséquences» (Transports Canada, 2001, p. iii).

La revue des rapports d'accidents démontre que la majorité des événements sont issus d'une combinaison de facteurs appelés ici «dangers». Ces dangers ont agi parfois de façon additive et parfois de façon synergique.

Il est important de mentionner qu'un événement, quel qu'il soit, est généré par un ou plusieurs dangers, dont l'origine peut être diverse. Ces dangers peuvent agir indépendamment les uns des autres, entraînant un effet additif (effet associé au danger A + effet associé au danger B = effet global de A+B), ou interagir entre eux de façon à amplifier les effets de chacun, entraînant un effet dit synergique (effet associé au danger A + effet associé au danger B < effet global de A+B) (Axys Environmental Consulting *et al.*, 2000). De plus, l'effet de certains dangers est parfois amplifié par

---

3 Événement : Faits desquels découlent une situation particulière pouvant entraîner des dommages
4 Fréquence : Nombre d'occurrences d'un événement
5 Conséquence : Dommages résultant des événements
6 Nombre de chances de voir l'événement se produire

d'autres facteurs appelés «facteurs aggravants». La notion de facteurs aggravants sera élaborée à la section 6.1.2.

Les dangers liés au domaine maritime, et plus spécifiquement au pilotage sur le Saint-Laurent, sont nombreux et variés. Dans le cadre de la présente étude, de nombreux documents ont servi à identifier les dangers associés à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent; il s'agit principalement des sources d'informations suivantes :

- rapports d'accidents survenus dans le Saint-Laurent;
- rapports d'accidents survenus à l'étranger;
- extrait de la base de données MARSIS sur les accidents maritimes;
- mémoires déposés dans le cadre du présent projet et dans le cadre de projets similaires, réalisés antérieurement ou dans d'autres régions.

La revue de la littérature, de même que l'analyse des rapports d'accident et des bases de données ont permis de dresser une liste d'éléments identifiés comme étant des dangers potentiels, associés à la navigation sur le Saint-Laurent. Ces derniers sont regroupés en trois catégories, soit :

- les dangers associés à des facteurs naturels (caractéristiques physiques d'origine naturelle ou anthropique);
- les dangers associés à des facteurs humains (aspects liés au comportement humain et à ses capacités);
- les dangers associés à des facteurs techniques (aspects mécaniques, techniques et technologiques).

La liste des dangers identifiés est présentée au tableau 3.

Les dangers associés à des facteurs naturels sont, dans bien des cas, spécifiques à certains tronçons du Saint-Laurent. Le tableau 4 présente les caractéristiques des circonscriptions de pilotage et les dangers associés à chacune d'elles. Ces informations sont tirées du rapport d'évaluation des risques produit par DDH Environnement Ltée (2002), le mémoire déposé par la Société linnéenne du Québec et Les Amis de la vallée du Saint-Laurent (2003), ainsi que les mémoires déposés par la Corporation des pilotes du Saint-Laurent central (2002 et 2003) et la Corporation des pilotes du Bas-Saint-Laurent (2003).

Tableau 3 – Liste des dangers associés à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent

Description du danger	*Naturel*	*Humain*	*Technique*
Profondeur du chenal/présence de hauts-fonds	X		
Largeur du chenal (étroitesse)	X		
Sinuosité du tracé	X		
Marée	X		
Vitesse et direction des courants	X		
Niveau d'eau	X		
Courants traversiers	X		
Vent et vague	X		
Diminution des données visuelles en situation de navigation nocturne	X		
Visibilité (pluie, brouillard, brume, neige, verglas, etc.) et conditions météorologiques	X		
Présence de glaces	X		
Nature du fond et des parois	X		
Densité du trafic et types de navires rencontrés	X		
Trafic de traversiers	X		
Navigation de plaisance (été)	X		
Présence et qualité des aides à la navigation	X		
Configuration des installations portuaires	X		
Présence d'obstacles (naturels et artificiels)	X		
Durée du voyage	X	X	
Méconnaissance des caractéristiques environnementales du milieu et des conditions météorologiques	X	X	
Méconnaissance du navire et des équipements de navigation		X	
Évaluation imprécise de la position du navire		X	
Collaboration entre les pilotes et les membres de la passerelle		X	
Communication entre les pilotes et les membres de la passerelle		X	
Langue de communication		X	
Fatigue		X	
Stress		X	
Estimation erronée des conditions (marée, vent)		X	
Charge de travail trop grande, quantité trop élevée d'informations à prendre en considération		X	
Inattention lors de la conduite du navire		X	
Relevés contradictoires		X	
Désaccord ou mésentente entre les membres de l'équipe		X	
Plan de route non suivi ou mal défini, préparation du voyage		X	
Erreur opérationnelle, changement de cap au mauvais endroit		X	
Communication avec l'extérieur		X	
Mouillage dans des zones où il y a présence d'infrastructures sous-marines		X	
Méconnaissance des particularités des quais et de leurs approches		X	
Actes de sabotage ou terrorisme		X	
Le rapport de position n'a pas été transmis		X	
Mauvaise estimation des distances requises lors d'un croisement de navires		X	

Description du danger	*Naturel*	*Humain*	*Technique*
Impératifs de la rentabilité et de la compétitivité		X	
Mauvaise lecture des instruments		X	
Perte totale ou partielle de pouvoir («black-out»)			X
Perte totale ou partielle des instruments de navigation			X
Erreur de positionnement, par un mauvais réglage des instruments de navigation			X
Perte totale ou partielle du gouvernail			X
Défaillance du transmetteur d'ordre à la machine			X
Panne des aides à la navigation			X
Balisage restreint en période hivernale			X
Défectuosité du système électrique			X
Défaillance d'un compresseur ou autre équipement mécanique			X
Défaillance de la structure du navire			X
Mauvaise répartition de la cargaison sur le navire			X
Manoeuvrabilité du navire			X
Configuration du navire			X
Dimensions du navire			X

Tableau 4 – Synthèse des dangers associés aux différents tronçons de navigation

Description du danger	*Port de Montréal*	*Montréal/ Trois-Rivières*	*Trois-Rivières/ Québec*	*Port de Québec*	*Québec/ Les Escoumins*	*Rivière Saguenay*
Profondeur du chenal/présence de hauts-fonds	X	X	X		X	
Largeur du chenal (étroitesse)	X	X	X			
Sinuosité du tracé		X	X			
Marée			X	X	X	X
Vitesse et direction des courants	X	X			X	
Niveau d'eau						
Courants traversiers	X	X	X		X	
Vent et vague						
Diminution des données visuelles en situation de navigation nocturne	X			X		
Visibilité (pluie, brouillard, brume, neige, verglas, etc.) et conditions météorologiques	X		X		X	X
Présence de glaces	X	X	X	X	X	X
Nature du fond et des parois		X	X			
Densité du trafic et types de navires rencontrés	X	X	X	X	X	X
Trafic de traversiers		X		X	X	
Navigation de plaisance (été)	X			X	X	
Présence et qualité des aides à la navigation		X	X		X	
Configuration des installations portuaires	X			X		
Présence d'obstacles (naturels et artificiels)	X	X	X			

3.3.2 *Identification des types de conséquences et de dommages*

Tel que mentionné précédemment, la MGRP définit un scénario de risque comme étant une «série d'événements auxquels sont associés une fréquence et des conséquences» (Transports Canada, 2001, p. iii). Il est donc essentiel, afin d'élaborer et d'analyser des scénarios de risque, d'identifier les conséquences généralement associées aux situations critiques issues de la navigation sur le Saint-Laurent, particulièrement celles en lien avec le pilotage et de connaître les dommages qui leur sont associés.

3.3.2.1 Conséquences

L'analyse des informations contenues dans la base de données MARSIS, de même que les divers documents consultés (DDH Environnement 2002, Société linnéenne du Québec et Les Amis de la vallée du Saint-Laurent 2003, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central 2002 et 2003, Corporation des pilotes du Bas-Saint-Laurent 2003) indiquent que, de façon générale, les accidents maritimes sont susceptibles d'entraîner les conséquences suivantes :

- un talonnage;
- un échouement;
- une collision avec un navire ou une embarcation;
- une collision avec une infrastructure (quai, pilier de pont, grue, etc.);
- un chavirement;
- un incendie et/ou une explosion;
- un naufrage.

Ces conséquences peuvent affecter à divers degrés la santé et la sécurité des employés et du public, l'environnement, la productivité, l'état des équipements et des infrastructures, etc. Il est donc essentiel, afin de connaître le risque associé à une situation donnée, d'évaluer l'ampleur des conséquences, soit leur gravité.

Pour un même événement, les conséquences et leur gravité peuvent varier en fonction de divers facteurs dont :

- les caractéristiques naturelles et écologiques de l'endroit où se produit l'événement;
- la largeur, la profondeur et la sinuosité du chenal à l'endroit où se produit l'événement;

- les conditions de navigation prévalant au moment de l'événement;
- le type de navire et sa cargaison;
- les caractéristiques de navigation et de manœuvrabilité du navire;
- le trafic maritime à proximité;
- la présence ou non d'infrastructures;
- la rapidité d'intervention.

3.3.2.2 Dommages

La part de la pollution industrielle attribuable aux navires-citernes et aux chalands qui transportent des produits chimiques et pétroliers, représente une faible partie de la pollution aquatique globale. Toutefois, un seul déversement d'importance dans le fleuve Saint-Laurent pourrait occasionner un désastre. En 1990, le Comité Brander-Smith (Brander-Smith *et al.* 1990) a souligné, qu'à l'époque, les plans d'urgence et les exercices n'étaient pas suffisamment détaillés et précis pour assurer la protection en cas de déversement important.

Advenant le cas d'un déversement de 1 500 m^3 de mazout dans le lac Saint-Pierre, Judson, Shortreed & Reid (1999) estiment les coûts totaux de nettoyage du fleuve, des berges et des réparations civiles à 22,2 M$. Ceci inclut les amendes pour les torts à l'environnement qui pourraient atteindre le maximum d'un million de dollars. Enfin, ils ont estimé la probabilité d'une collision entre navires dans le secteur Pointe-aux-Ormes à 0,36 par année, ce qui équivaut à un événement tous les trois ans. De plus, les dommages causés aux navires par une collision engendreraient des coûts d'environ deux millions de dollars par année et ce, sans compter les conséquences environnementales et sociales.

D'une façon plus générale, les conséquences possibles de l'échouement d'un navire ou d'une collision avec une structure ou un autre navire sont nombreuses et leur gravité dépend des événements et des conditions dans lesquelles la situation se produit. Lors de la collision entre navires, les dommages potentiels sont : la perte de vie, l'obstruction partielle ou totale du chenal, l'explosion et l'incendie, les dommages matériels aux navires, aux équipements ou à la cargaison, la perturbation ou la destruction du milieu aquatique par la pollution et la perturbation des réseaux d'aqueduc. Advenant le cas d'une collision d'un navire avec une structure, on ajoute à la liste des dommages possibles : l'interruption des opérations portuaires, les dommages patrimoniaux (ex. pont de Québec) et les coupures de services publics (Société linnéenne du Québec et Les Amis de la vallée du Saint-Laurent, 2003).

La pollution du milieu aquatique par les produits du transport maritime est de loin l'aspect le plus difficile à évaluer. Le fleuve Saint-Laurent est une source nationale prioritaire relativement à la diversité écologique qu'il présente et compte tenu des activités commerciales et récréotouristiques qui s'y rattachent. Le fleuve est un corridor fréquenté par plus de 260 espèces d'oiseaux et abrite plus de 240 espèces halieutiques. Il est difficile d'imaginer l'ampleur des conséquences qu'un déversement important causerait dans le fleuve, mais une chose est certaine, la situation serait encore plus problématique qu'en mer. En effet, le nettoyage des sols meubles et des îles pose un défi technologique plus grand que le nettoyage des côtes rocailleuses des mers. Dans le cas d'un déversement de pétrole, il y aurait contamination des deux rives du Saint-Laurent et en raison des marées, une oscillation de la zone riveraine affectée. De plus, la rétention des matières par estacade serait moins efficace en raison des forts courants et/ou des glaces. (Société linnéenne du Québec et Les Amis de la vallée du Saint-Laurent, 2003).

Les marées noires peuvent souiller les berges pendant des années et ainsi ruiner le potentiel touristique d'une région, sans compter le tort considérable qu'un tel événement causerait à l'image de l'industrie maritime. Des communautés entières d'oiseaux peuvent êtres affectées (Brander-Smith *et al.* 1990). De plus, en détruisant les micro-organismes, à la base de la chaîne alimentaire, on met en péril le reste de la chaîne à commencer par les stocks de poissons et les zones de fraie.

La contamination des rives entraînerait aussi la destruction de marais. Ces derniers, en plus d'abriter une richesse écologique incomparable, accueillent de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs. Ce sont des écosystèmes complexes qui favorisent aussi le maintien de la nappe phréatique et l'atténuation des impacts naturels, comme les inondations et l'érosion sur les rives du Saint-Laurent. De plus, certains de ces marais, dont la réserve du Cap Tourmente et la réserve de la baie de l'Île Verte, font partie du patrimoine mondial.

Plus de 30 types de produits classés dangereux sont transportés par bateaux sur le fleuve Saint-Laurent (Paul et Guerrier, 2000). Ce sont des produits chimiques ou pétroliers qui deviennent problématiques en cas de déversement. Leurs propriétés font en sorte qu'ils se dissolvent dans l'eau et/ou sont plus denses et/ou encore ils réagissent avec l'eau pour former des composés toxiques. En plus de provoquer des torts considérables à l'environnement, certains de ces produits peuvent comporter des risques importants pour la population, en raison du nombre important de prises d'eau assurant l'approvisionnement en eau potable. Par exemple, l'acide sulfurique est visqueux et plus dense que l'eau. Il peut ainsi contaminer les prises d'eau qui se trouvent au fond. Autre exemple, le cyanure de sodium est soluble, coule rapidement en profondeur et réagit avec l'eau pour former un

gaz toxique, le cyanure d'hydrogène. Au Québec, c'est 45 p. 100 de la population qui est approvisionnée en eau potable à partir du fleuve. Par ailleurs, d'autres produits non classés comme étant des produits dangereux peuvent être nocifs en cas de déversement.

Enfin, le fleuve Saint-Laurent abrite plusieurs espèces menacées de disparition, comme le béluga, le marsouin commun, le rorqual à bosse, etc. On y trouve également de nombreux sanctuaires d'oiseaux, dont le Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent, la Réserve mondiale de la biosphère de Charlevoix et la Zone de protection marine de l'estuaire (ZPM). Conséquemment, tout déversement d'envergure pourrait s'avérer une menace pour le milieu.

Le tableau 5 présente une synthèse des dommages généralement associés à chacune des conséquences mentionnées précédemment. Les dommages potentiels sont tirés de la littérature, de la base de données MARSIS, et des différents rapports d'accidents produits par le BST.

Tableau 5 – Sommaire des conséquences et des dommages associés

CONSÉQUENCES	*DOMMAGES*							
	Blessure	*Mortalité*	*Dommage matériel au navire et/ou à la cargaison*	*Dommage matériel aux infrastructures*	*Obstruction du chenal de navigation*	*Retard et perte de revenu*	*Perturbation/ destruction du milieu naturel*	*Contamination de l'eau et/ou des sédiments*
Talonnage	X		X				X	
Échouement	X		X		X	X	X	X
Collision avec un navire	X	X	X		X	X	X	X
Collision avec une infrastructure	X	X	X	X	X	X	X	X
Chavirement	X	X	X		X	X	X	X
Incendie et/ou explosion	X	X	X		X	X	X	X
Naufrage	X	X	X			X	X	X

3.4 Facteurs humains

De part le but et les objectifs poursuivis par cette étude, les facteurs humains représentent en quelque sorte le noyau autour duquel se rattache des éléments d'analyse complémentaires.

Une revue de la littérature concernant l'aspect humain dans la dynamique du pilotage a été complétée. Cette revue de la littérature présente trois volets d'analyse. L'un d'entre eux consiste à dresser un portrait des effets de la fatigue sur les performances d'une personne qui effectue des tâches demandant un effort au niveau cérébral. À cette information, se greffe une démonstration des besoins cognitifs et des niveaux de performance que doit avoir le pilote pour effectuer sa tâche de façon sécuritaire. Puis, un dernier volet consiste à englober les deux volets précédents dans la dynamique du pilotage maritime.

La revue de la littérature permet donc d'avoir une bonne vue d'ensemble des exigences reliées à la performance et à la charge de travail, de l'impact de la fatigue sur les facteurs humains et d'intégrer le tout dans la perspective du pilotage maritime.

Vous retrouverez à l'annexe 1 (*Revue de la littérature des facteurs humains*) la revue de la littérature, en anglais seulement, de la présente étude portant sur les facteurs humains.

4. Analyses statistique et spatiale

L'analyse des données, recueillies suite aux divers accidents et incidents survenus dans le passé, est une source importante d'information. Elle permet d'identifier les différents dangers et facteurs impliqués dans l'avènement d'un incident ou d'un accident. Elle permet également, par des analyses statistique et spatiale, de déceler des tendances ou d'identifier des liens de cause à effet.

Dans le cadre de la présente étude, les principales sources d'information consultées relativement aux accidents et incidents survenus dans le passé, sont la base de données MARSIS, de Transports Canada, ainsi que les rapports d'accidents produits par le BST.

Afin de réaliser une analyse statistique et une analyse spatiale, un extrait de la base de données MARSIS a été obtenu auprès de Transports Canada. Cet extrait couvrait uniquement les accidents et incidents survenus entre Montréal et Les Escoumins, soit les limites de l'APL. Cette source d'information a été complétée par la base de données DADS, gérée par la Garde côtière canadienne, qui présente les données relatives au passage des navires.

4.1 Traitement préliminaire des données

Afin de ne retenir que les données pertinentes à la présente analyse de risque, les données provenant de la base de données MARSIS ont été traitées de la façon suivante :

- Les accidents et incidents survenus à l'extérieur du territoire à l'étude ont été éliminés;
- Les accidents et les incidents survenus, alors qu'aucun pilote n'était à bord, ont été éliminés. Cependant, ceux pour lesquels l'information était inconnue ont été conservés;
- Les accidents et les incidents, dont la cause n'a aucun lien avec le pilotage, ont été éliminés. Pour ce faire, un tri sur le type d'événement a été réalisé et pour certains types, une analyse du commentaire s'est avérée nécessaire.

4.2 Analyse statistique

Les résultats de l'analyse statistique ont permis de répondre à certains de nos questionnements. Ces résultats ont aussi servi à la validation de données utilisées par le modèle d'évaluation du risque. Vous retrouverez à l'annexe 3 (*Rapport statistique*) les résultats obtenus sous forme de tableaux.

4.3 Analyse spatiale

À l'aide des données provenant de la base de données MARSIS, une analyse spatiale des accidents et incidents a été réalisée. Cependant, avant de traiter les données, une analyse des origines et des destinations de chacun des navires conservés, suite à l'étape de traitement, a été réalisée afin d'identifier si le navire impliqué dans l'événement montait ou descendait le Saint-Laurent ou le Saguenay. Pour les navires dont une des informations était manquante ou pour ceux dont les informations étaient erronées (origine et destination n'étant pas en lien avec un passage dans le Saint-Laurent), une direction inconnue a été attribuée. Vous trouverez à l'annexe 4 (*Cartes de l'analyse spatiale*) les cartes produites pour cette analyse.

Une carte présentant l'ensemble des accidents et incidents a été produite (carte 1). Cette carte révèle clairement que le tronçon entre Montréal et Québec est davantage sujet aux accidents et incidents que le tronçon entre Québec et Les Escoumins. La carte 1 démontre également que les accidents et incidents sont plus concentrés dans les secteurs avoisinant les zones portuaires (Montréal, Sorel, Trois-Rivières, Québec et dans une moindre mesure, Cacouna et Saguenay).

Les cartes 2, 3 et 3a, présentant les accidents et incidents par période de trois ans, confirment l'observation précédente. Ainsi, ces cartes indiquent que les accidents sont plus concentrés dans des secteurs précis, dont les zones portuaires, alors que les incidents sont plus disséminés sur l'ensemble du territoire, à l'exception du port de Québec où une grande concentration d'incidents est notée. En ce qui a trait à la répartition des accidents et incidents dans le temps, aucune tendance n'est marquée.

Les cartes 4 et 5 indiquent la répartition des accidents et des incidents survenus sur les différents tronçons en considérant si le navire montait (carte 4) ou descendait (carte 5). L'analyse de ces cartes indique une concentration d'accidents se produisant vers la fin du voyage, lorsque les navires montent le Saguenay, alors que, lorsque le navire descend le Saguenay, les accidents sont répartis le long du tracé avec une concentration à l'embouchure. En ce qui concerne les tronçons Escoumins – Québec et Québec – Trois-Rivières, aucune tendance n'est marquée. Pour le tronçon Montréal – Trois-Rivières, la comparaison entre les cartes 4 et 5 permet de noter une augmentation des accidents dans le secteur de Sorel et à l'entrée du lac Saint-Pierre, lorsque les navires descendent comparativement à lorsqu'ils montent le Saint-Laurent.

La carte 6 présente la répartition des accidents et des incidents en fonction du type de navire. L'analyse de cette carte ne révèle aucune tendance, ni aucun fait marquant.

5. Élaboration des scénarios

La présente étude vise à revoir et déterminer tous les critères et toutes les circonstances permettant de déterminer la nécessité d'un deuxième pilote et/ou détenteur d'un certificat de pilotage à bord d'un navire.

Les scénarios élaborés dans le cadre de cette étude doivent donc permettre de déterminer si l'ajout d'un deuxième pilote est la mesure appropriée pour réduire le risque associé à un scénario donné et d'évaluer l'apport d'autres mesures d'atténuation. Tous les scénarios ne permettant pas de déterminer la nécessité d'un deuxième pilote ont été rejetés (exemple : acte de terrorisme ou de sabotage, accident survenu alors qu'aucun pilote n'était à bord, etc.).

La section qui suit présente les scénarios élaborés et retenus.

5.1 Description des scénarios de risque

Dans un premier temps, afin de développer les scénarios, la liste des dangers présentée au chapitre 3 (tableau 3) a été validée auprès des intervenants lors de la première consultation tenue à l'automne 2003, puis discutée et complétée.

En fonction des commentaires recueillis lors des consultations, les dangers ont été analysés de façon à retenir les plus pertinents. Certains de ces dangers peuvent être considérés comme étant des «facteurs aggravants» (facteurs contributifs), c'est-à-dire non pas les causes desquelles origine l'événement, mais les facteurs qui ont facilité son avènement et/ou qui ont contribué à l'amplification des conséquences de ce dernier.

Lors des consultations, il a été établi que certains de ces facteurs aggravants constituent des éléments pouvant potentiellement permettre de déterminer dans quelles conditions un scénario atteint un degré de risque tel qu'il nécessite la présence d'un deuxième pilote sur la passerelle ou la mise en place de toute autre mesure d'atténuation. Ces facteurs aggravants ont été considérés dans l'élaboration des scénarios.

Dans le cadre de la présente étude, les éléments tels que la fatigue, le stress, la surcharge de travail ne sont pas considérés comme étant des dangers en soi, mais des facteurs aggravants et des conditions à l'origine des dangers associés aux facteurs humains (*error producing condition* – EPC).

Ce choix méthodologique est justifié par :

- le fait que la fatigue, le stress et la surcharge de travail sont des facteurs pouvant entraîner une omission ou un geste inapproprié à une situation donnée qui à son tour occasionnera un événement. Dans ce cas, c'est l'omission ou le geste inapproprié qui constitue le danger, bien que ce dernier provienne de l'état de fatigue, de stress ou de surcharge du pilote;
- le fait que l'état de fatigue, de stress ou de surcharge du pilote peut venir aggraver une situation existante, par un manque de vigilance ou une réaction inappropriée ou trop lente.

De plus, puisque les scénarios élaborés doivent permettre de juger de la nécessité d'un deuxième pilote, il apparaît donc déterminant de mettre l'humain, en l'occurrence le ou les pilotes, ainsi que l'équipage, au centre de l'analyse. Par conséquent, les scénarios élaborés sont tous issus de dangers associés à des facteurs humains. Il en est de même pour le modèle développé pour l'analyse des scénarios de risque. Les autres dangers (naturels, technologiques et certains facteurs humains) sont considérés comme des facteurs aggravants. Les conditions et les facteurs aggravants, ayant un lien avec la durée du voyage (fatigue, stress, surcharge de travail, secteur de navigation, caractéristiques du navire, etc.), sont retenus et seront utilisés dans le modèle d'analyse. Ce modèle est présenté au chapitre 6.

Ainsi, les hypothèses suivantes sont à la base de la présente étude et de la méthodologie d'analyse des scénarios :

- ce ne sont pas les facteurs naturels ou techniques qui occasionnent un accident, mais une omission, une mauvaise interprétation, une erreur humaine ou une manœuvre inappropriée aux conditions environnantes ou aux circonstances particulières;
- les facteurs naturels ou techniques contribuent au scénario de risque en tant que facteurs aggravants.

Le tableau 6 présente les dangers retenus et ceux étant considérés comme des facteurs aggravants.

Tableau 6 – Dangers et facteurs aggravants retenus pour l'élaboration des scénarios

Description du danger	*Naturel*	*Humain*	*Technique*	*Facteur aggravant*
Profondeur du chenal/présence de hauts-fonds	X			X
Largeur du chenal (étroitesse)	X			X
Sinuosité du tracé	X			X
Marée	X			X
Vitesse et direction des courants	X			X
Niveau d'eau	X			X
Courants traversiers	X			X
Vent et vague	X			X
Diminution des données visuelles en situation de navigation nocturne	X			X
Visibilité (pluie, brouillard, brume, neige, verglas, etc.) et conditions météorologiques	X			X
Présence de glaces	X			X
Nature du fond et des parois	X			X
Densité du trafic et types de navires rencontrés	X			X
Trafic de traversiers	X			X
Navigation de plaisance (été)	X			X
Présence et qualité des aides à la navigation	X			X
Configuration des installations portuaires	X			X
Présence d'obstacles (naturels et artificiels)	X			X
Durée du voyage		X		X
Méconnaissance des caractéristiques environnementales du milieu et des conditions météorologiques		X		X
Méconnaissance du navire et des équipements de navigation		X		X
Évaluation imprécise de la position du navire		X		
Collaboration entre les pilotes et les membres de la passerelle		X		X
Communication entre les pilotes et les membres de la passerelle		X		X
Langue de communication		X		X
Fatigue		X		X
Stress		X		X
Estimation erronée des conditions (marée, vent)		X		
Charge de travail trop grande, quantité trop élevée d'informations à prendre en considération		X		X
Inattention lors de la conduite du navire		X		
Relevés contradictoires		X		
Désaccord ou mésentente entre les membres de l'équipe		X		
Plan de route non suivi ou mal défini, préparation du voyage		X		
Erreur opérationnelle, changement de cap au mauvais endroit		X		

Description du danger	*Naturel*	*Humain*	*Technique*	*Facteur aggravant*
Communication avec l'extérieur		X		
Mouillage dans des zones où il y a présence d'infrastructures sous-marines		X		
Méconnaissance des particularités des quais et de leurs approches		X		X
Actes de sabotage ou terrorisme		X		
Le rapport de position n'a pas été transmis		X		
Mauvaise estimation des distances requises lors d'un croisement de navire		X		
Impératifs de la rentabilité et de la compétitivité		X		X
Mauvaise lecture des instruments		X		
Perte totale ou partielle de pouvoir («black-out»)			X	X
Perte totale ou partielle des instruments de navigation			X	X
Erreur de positionnement, par un mauvais réglage des instruments de navigation			X	X
Perte totale ou partielle du gouvernail			X	X
Défaillance du transmetteur d'ordre à la machine			X	X
Panne des aides à la navigation			X	X
Balisage restreint en période hivernale			X	X
Défectuosité du système électrique			X	X
Défaillance d'un compresseur ou autre équipement mécanique			X	X
Défaillance de la structure du navire			X	X
Mauvaise répartition de la cargaison sur le navire			X	X
Manoeuvrabilité du navire			X	X
Configuration du navire			X	X
Dimensions du navire			X	X

En considérant les aspects humains au centre de la présente étude, les scénarios de risque élaborés doivent permettre d'identifier les aspects humains d'où origine l'événement, ainsi que les facteurs aggravants ayant contribué à la situation, et être en mesure d'évaluer l'apport d'un deuxième pilote ou de toute autre mesure d'atténuation dans la réduction du niveau de risque.

Afin de s'assurer de la pertinence des scénarios dans le cadre de la présente étude et d'être en mesure d'évaluer l'apport d'un deuxième pilote ou de toute autre mesure d'atténuation dans la réduction du niveau de risque, l'analyse de ces scénarios doit permettre de répondre par l'affirmative à au moins l'une des questions suivantes :

- Est-ce que le pilote a commis une erreur de pilotage?
- Est-ce que le pilote a mésestimé les conditions de navigation et la poussée de la glace?

- Est-ce que le pilote était assez expérimenté ou avait-t-il la formation nécessaire pour naviguer dans ces conditions?
- Est-ce que le pilote était fatigué ou stressé et est-ce que la fatigue ou le stress a pu altérer son jugement lors d'une manœuvre?
- Est-ce que le pilote avait une trop grande charge de travail au point qu'il n'a pu considérer l'ensemble des éléments d'information nécessaires ou qu'il a sous-estimé ceux-ci?
- Est-ce que le pilote travaillait dans un environnement ne lui permettant pas de réaliser efficacement les tâches qui lui incombaient?

Une réponse affirmative à l'une de ces questions permet de pousser la réflexion à savoir si un deuxième pilote aurait permis de régulariser la situation. À l'opposé, il faut se demander si la situation était inévitable. Dans un tel cas, la présence d'un deuxième pilote, peu importe son degré d'expérience ou de vigilance, n'aurait pas été bénéfique.

À l'aide des dangers et des facteurs aggravants identifiés précédemment, cinq scénarios ont été élaborés. Tous les scénarios retenus sont issus d'un danger associé à des facteurs humains, liés aux tâches que le pilote doit accomplir. Parmi celles-ci, il se doit de réagir, dans la mesure du possible, aux imprévus et aux situations critiques pouvant survenir.

L'élaboration des scénarios de risque a été réalisée dans un premier temps en identifiant et regroupant les tâches devant être accomplies par le pilote. Ces tâches ont été identifiées à partir du rapport en trois volumes intitulé *Programme de formation pour le certificat de pilotage dans la région des Laurentides*, TP 13458F (Audet et Victor, 1999). Les groupements suivants ont été réalisés :

- Préparer le voyage;
- Préparer le plan de navigation;
- Informer les membres de la passerelle des conditions de navigation;
- Établir la confiance entre le pilote et les membres de la passerelle;
- Évaluer la performance, le comportement et la manœuvrabilité du navire;
- Vérifier la précision des instruments;
- Obtenir les informations des Services de communications et de trafic maritimes (SCTM);
- Déterminer les changements de direction afin de contrer le courant;
- Déterminer le temps de passage dans les secteurs à risques;
- Naviguer;
- Valider la position du navire;

- Analyser l'information fournie par l'équipage et les SCTM;
- Se rapporter aux SCTM;
- Donner les ordres au timonier;
- Évaluer les conditions météorologiques et naviguer en conséquence;
- Effectuer les changements de pilote au besoin;
- Réaliser les manœuvres à quai;
- Réaliser les manœuvres d'ancrage;
- Évaluer la nécessité de recourir aux remorqueurs;
- Évaluer les situations particulières;
- Manœuvrer de façon à éviter des catastrophes en situation d'urgence;
- Informer les SCTM des situations d'urgence;
- Évaluer les dommages environnementaux potentiels;
- Mettre à jour ses connaissances relatives aux mesures d'urgence.

Uniquement les scénarios les plus susceptibles de survenir et d'entraîner des conséquences négatives ont été retenus. Ces derniers sont présentés au tableau 7. Une description détaillée des scénarios et des paramètres considérés dans l'élaboration de ces derniers est présentée à l'annexe 5 (*Scénarios*). Il est à noter que ces scénarios ont été élaborés et testés sur simulateur de navigation afin de valider leur réalisme, notamment en ce qui a trait aux manœuvres et aux intervalles de temps de réaction.

Tableau 7 – Présentation des scénarios

ERREUR INITIALE	*2e ERREUR*	*RÉSUMÉ*
Scénario 1		
Mauvais ordre à l'homme de roue	Le pilote n'a pas validé la position du navire suite à la manœuvre erronée.	Le pilote présent sur un pétrolier naviguant entre Montréal et Trois-Rivières donne une commande erronée à l'homme de roue. Avant qu'une correction complète puisse être faite, le navire sort du chenal et s'échoue.
Scénario 2		
Erreur de l'homme de roue	Le pilote n'a pas noté l'exécution erronée de l'ordre donnée à l'homme de roue.	Le pilote présent sur un pétrolier naviguant entre Montréal et Trois-Rivières donne une commande à l'homme de roue. Ce dernier, fait une erreur dans l'exécution de la commande. Le pilote ne note pas à temps l'erreur de l'homme de roue. Avant que cette erreur soit notée et la correction complétée, le navire sort du chenal et s'échoue.

ERREUR INITIALE	*2e ERREUR*	*RÉSUMÉ*
Scénario 3		
Erreur de positionnement	Une mauvaise manœuvre est ordonnée à l'homme de roue.	En raison du déplacement de certaines bouées dans le secteur de Grondines, le pilote d'un vraquier évalue incorrectement la position du navire. Il effectue un changement de cap au mauvais endroit. Le cap n'est pas réajusté à temps et le navire sort du chenal et s'échoue.
Scénario 4		
Mauvaise interprétation des conditions de navigation	Le pilote n'a pas donné un ordre à l'homme de roue au moment opportun.	Un porte-conteneurs approche de l'Île-aux-Coudres. Trois plaisanciers se dirigent vers la marina et un navire arrive en sens inverse. Le pilote présent sur le porte-conteneurs mésestime le temps et la distance requis pour effectuer son changement de cap. La navire risque une collision avec le navire en sens inverse.
Scénario 5		
Le pilote a mal jugé le temps de passage à un point critique (accostage au Foulon)	Une mauvaise manœuvre est effectuée lors de l'accostage.	Le pilote et le capitaine d'un petit pétrolier ne s'entendent pas au préalable sur les manœuvres d'accostage du navire au quai de Saint-Romuald et ne travaillent pas ensemble. Le navire heurte le quai et un déversement se produit.

5.2 Conséquences et gravité

Chacun des scénarios identifiés à l'étape précédente a fait l'objet de discussions et d'une analyse afin de déterminer les conséquences les plus probables qui pourraient se produire dans le cadre de chacun de ces scénarios et d'évaluer la gravité de ces conséquences. Pour ce faire, des arbres de défaillances ont été élaborés pour chacun des scénarios retenus. Ces arbres de défaillances sont reproduits à l'annexe 8 (*Arbres de défaillances*).

L'évaluation de la gravité des conséquences est basée sur une grille de pointage permettant de noter la gravité des conséquences sur le plan de la sécurité et de la santé publique, de l'environnement et sur le plan économique. La grille utilisée est présentée au tableau 8.

Les conséquences associées à chacun des scénarios retenus, de même que la gravité de ces conséquences sont présentées au tableau 9.

Tableau 8 – Grille de calcul de la gravité des conséquences

Conséquences pour le public et les employés		*Poids*
Blessures ou effets sur la santé	Nulles	0
Blessures ou effets sur la santé	Mineures	1
Blessures ou effets sur la santé	Majeures	5
Blessures ou effets sur la santé	Sévères ou risque de décès	10

Conséquences économiques	*Poids*
Nulles	0
Moins de 100 000 $	1
Entre 100 000 $ et 1 000 000 $	de 2 à 3
Entre 1 000 000 $ et 10 000 000 $	de 4 à 9
Plus de 10 000 000 $	10

Conséquences environnementales/eau potable	*Poids*
Nulles	0
Mineures (voir tableau ci-contre)	1
Moyennes (voir tableau ci-contre)	5
Majeures (voir tableau ci-contre)	10

Évaluation des conséquences environnementales

	Ampleur de la conséquence (p. ex., déversement)		
	Faible	*Moyenne*	*Forte*
Effet temporaire (court terme)	Mineure	Mineure	Moyenne
Effet temporaire (moyen terme)	Mineure	Moyenne	Majeure
Effet permanent	Moyenne	Majeure	Majeure

Tableau 9 – Gravité et conséquences par scénario

Scénario	*Conséquences*	*Gravité (public/ environnement/ économie)*
Scénario 1 : Mauvais ordre à l'homme de roue	– Échouement	2/8/7 : total 17
Scénario 2 : Erreur de l'homme de roue	– Échouement	2/8/7 : total 17
Scénario 3 : Erreur de positionnement	– Échouement	1/5/7 : total 13
Scénario 4 : Mauvaise interprétation des conditions de navigation	– Collision avec un navire évitée	0/0/0 : total 0
Scénario 5 : Le pilote a mal jugé le temps de passage à un point critique (accostage au Foulon)	– Collision avec une infrasturcture	2/10/10 : total 22

6. Modèle d'analyse

Afin d'évaluer la probabilité d'occurrence des scénarios retenus, un modèle d'analyse de risque a été élaboré. Ce modèle, basé en partie sur la méthode *Human Error Analysis Reduction Technique* (HEART), développée par Williams (1988), permet de calculer le risque associé aux différents scénarios, en considérant :

- les facteurs aggravants impliqués;
- le type de navire et ses caractéristiques de manœuvrabilité;
- la section de navigation;
- la durée du transit;
- la présence d'un pilote à bord du navire;
- la présence de deux pilotes à bord du navire;
- la présence d'un pilote à bord du navire, mais en considérant l'application d'autres mesures d'atténuation du risque.

Puisqu'une analyse simultanée des trois variantes de scénario (un pilote, deux pilotes et un pilote avec d'autres mesures) peut être réalisée par le modèle, ce dernier est donc en mesure d'évaluer l'apport du deuxième pilote et l'efficacité de toute autre mesure d'atténuation du risque. Une représentation de l'interface du modèle est présentée à la figure 2.

6.1 Composantes du modèle

Le modèle d'analyse, utilisé dans le cadre de la présente étude afin de calculer la probabilité d'occurrence des événements, a été construit autour de la méthode HEART à laquelle se sont ajoutés divers calculs permettant de considérer l'ensemble des éléments jugés pertinents (figures 2 et 3).

Figure 2 – Modèle utilisé

Scenario	1. Pilot gives wrong command
Section of navigation	Montreal - Trois-Rivieres
Type of ship (manoeuvrability)	Cargo (LNTR)
Lenght of the ship	180 m
Mitigation measure	Officer cycle à accoster (BPM, plan de passage, expérience, repos)
Duration of the trip (1 to 10 h)	10 hours

AGGRAVATING FACTORS

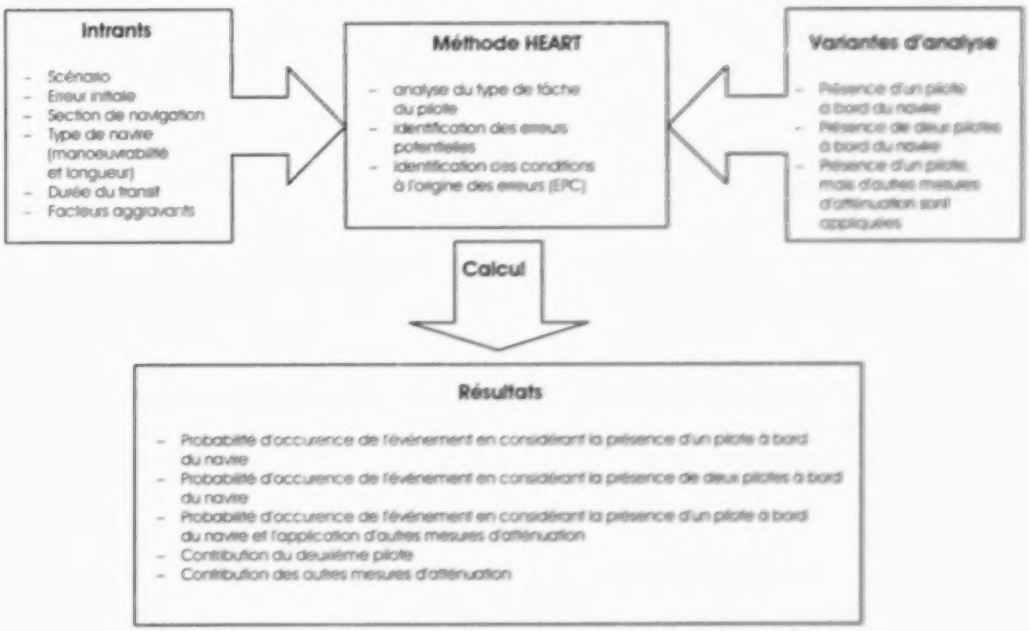
Ice conditions	Sinuous channel characteristics
Strong wind, storm or fog conditions	Size of channel
High winds	Strong tidal and current effects
Darkness and night navigation	Position and configuration of the harbour
Ship performance characteristics	Ship condition and maintenance
Crew performance characteristics	Ship navigation equipment
Dense ship traffic levels	External Constraints
Lack of Navigational aids, including VTS	

Event Tree initiator			Enabling Events														Surrounding conditions				Outcome Results									
			Pilot fails to check ship's position at a critical point in the transit				Crew member didn't notices the error within a short period of time				Not Event		The ship is in a hard navigation section		Consequences		Event Sequence Frequencies			Second Pilot Contribution	Other Mitigation Measures Contribution	Event Sequence Risk			Second Pilot Contribution	Other Mitigation Measures Contribution
Yaw Frequency per passage	Basis for Yaw Frequency	Initiating Human Error	Human error probability with one pilot	Human error probability with two pilots	Human error probability with other Mitigation Measure	Initiating error frequency with one pilot	Initiating error frequency with two pilots	Initiating error frequency with other Mitigation Measure	Human error probability with one pilot	Human error probability with two pilots	Human error probability with other Mitigation Measure	Basis for HEP	Human error probability with one pilot	Human error probability with two pilots	Human error probability with other Mitigation Measure	Basis for HEP		Probability that this error occurs in a hard navigation section	Basis for probability	Description of event sequence outcome	Severity of the consequences (High 10)	Frequency with one pilot (events per passage)	Frequency with two pilots (events per passage)	Frequency with other Mitigation Measure (events per passage)	Ratio of frequency with two pilots to frequency with one pilot	Ratio of frequency with other Mitigation Measure to frequency with one pilot	Risk with one pilot (Exp per passage)	Risk with two pilots (Exp per passage)	Risk with other Mitigation Measure (Exp per passage)	Ratio of risk with two pilots to risk with one pilot	Ratio of risk with other Mitigation Measure to risk with one pilot
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Pilot fails to check ship's position at a critical point in the transit	[illegible]	[illegible]	[illegible]	The crew misses critical error made by the Pilot		0.03	0										
																		0.07		None - Ship	0									
																		0.03		None - Ship	0									
																		0.07		Ground	5									
																		0.05		Grounding	7									
																		0.07		None - Ship	0									
																		0.03		None - Ship	0									
																		0.07		Grounding	5									
																		0.05		Grounding	10									
Total Risk																														

La construction du modèle a été réalisée à partir de la revue de la littérature et des commentaires exprimés lors des consultations à l'égard des éléments suivants :

- les dangers;
- les facteurs aggravants;
- les scénarios;
- les mesures d'atténuation;
- etc.

Figure 3 – Logigramme du modèle d'analyse de risque



6.1.1 Le modèle HEART

Le modèle HEART permet de calculer la probabilité d'occurrence des erreurs humaines, en fonction de la nature des tâches décrites au chapitre 5. Cette probabilité tient compte :

- du type de tâche;
- de l'incertitude associée à chacun de ces types de tâche;
- des erreurs potentielles;
- des conditions à l'origine de ces erreurs (EPC – error producing conditions);

- de l'effet des EPC sur la probabilité d'occurrence;
- du poids associé à chacun de ces EPC.

Les données proviennent des tables élaborées par Williams (1988) lors du développement du modèle HEART. Ces tables sont présentées à l'annexe 2 (*Analyse méthodologique des facteurs humains*), de même que le détail relatif au calcul de la probabilité d'occurrence de l'erreur humaine.

Le tableau 10 présente les données ayant servi au calcul des probabilités d'occurrence des erreurs humaines retenues dans le cadre du présent projet. Les données relatives à toutes les tâches identifiées au chapitre 5 ont été insérées dans le modèle, même si les scénarios ayant servi au calcul des probabilités d'occurrence des erreurs humaines ne tiennent pas compte de ces tâches. Ainsi, les scénarios peuvent aisément être modifiés au besoin.

Tableau 10 – Données pour le calcul des probabilités d'occurrence selon la méthode HEART

Type de tâche	*Prob. liée au type de tâche*	*Erreur*	*N° de l'EPC*	*Effet de l'EPC*	*Poids de l'EPC**
Préparation du passage	F 0,0030	Erreur de positionnement	1	17	0,01
			2	11	0,30
			16	3	0,20
			17	3	0,20
			18	3	0,20
			19	3	0,05
	TC 0,0010	Le pilote a mal jugé le temps de passage à un point critique.	2	11	0,30
			10	5,5	0,20
			18	3	0,20
Navigation	G 0,0004	Le pilote n'a pas validé la position du navire suite à la manœuvre erronée.	1	17	0,10
			2	11	0,30
			3	10	0,25
			5	8	0,25
			8	6	0,25
			16	3	0,20
			17	3	0,20
			18	3	0,20
		Mauvaise interprétation des conditions de navigation	1	17	0,10
			2	11	0,30
			3	10	0,25
			5	8	0,25
			8	6	0,25
			16	3	0,20
			17	3	0,20
			18	3	0,20
			19	3	0,05

Type de tâche	*Prob. liée au type de tâche*	*Erreur*	*N° de l'EPC*	*Effet de l'EPC*	*Poids de l'EPC**
Navigation	G 0,0004	Une mauvaise manœuvre est commandée à l'homme de roue.	1	17	0,10
			2	11	0,30
			16	3	0,20
			17	3	0,20
			18	3	0,20
			19	3	0,05
		Le pilote n'a pas noté l'exécution erronée de l'ordre donnée à l'homme de roue	1	17	0,10
			2	11	0,30
			8	6	0,20
			16	3	0,20
			17	3	0,20
			18	3	0,20
			19	3	0,05
		Le pilote n'a pas ordonné une commande à l'homme de roue au moment opportun.	1	17	0,10
			2	11	0,30
			8	6	0,20
			17	3	0,20
			18	3	0,20
Situations particulières	C 0,1600	Mauvaise manœuvre lors de l'accostage	1	17	0,05
			2	11	0,05
			3	10	0,05
			8	6	0,05
			10	5,5	0,05
			16	3	0,10
			17	3	0,10
			18	3	0,20
			19	3	0,05
Tâche de l'homme de roue	E 0,0200	L'ordre donné n'est pas exécuté correctement par l'homme de roue.	2	11	0,20
			16	3	0,10
			17	3	0,10
			18	3	0,20

* Valeurs données à titre d'exemple

Les lettres C, E, F, G et TC correspondent au type de tâches à accomplir. Leur définition est présentée au tableau 4 de l'annexe 2.

6.1.2 Influence des facteurs aggravants

Lors de l'étape d'identification et de la première consultation, divers dangers ont été identifiés comme étant des facteurs aggravants. Ces derniers, présentés au tableau 6, ont été intégrés au modèle afin d'évaluer leurs effets.

Ces facteurs, lorsqu'ils sont appliqués à un scénario particulier, viennent augmenter l'effet des EPC. Le niveau d'influence des facteurs aggravants sur les EPC représente un pourcentage de l'effet total attribuable à ce EPC. Le tableau 11 présente les niveaux d'influence utilisés dans le calcul des scénarios. Ces valeurs ont été déterminées par l'équipe de travail, en se basant notamment sur les

commentaires recueillis lors des consultations. Ainsi, en se basant sur les données présentées au tableau 11, le brouillard représente 30 p. 100 des sources potentielles de bruits de fond.

En plus d'être affectées par les facteurs aggravants présentés au tableau 11, certaines EPC, dont la pression due au temps, la charge de travail et la fatigue, sont affectées par d'autres facteurs comme la manœuvrabilité du navire et la durée du transit. L'influence de ces facteurs fait l'objet d'une analyse distincte en raison de leur caractère permanent et de l'influence de ces derniers dans l'avènement d'une situation critique.

Manœuvrabilité du navire

Plus un navire est grand ou encore, moins il est manœuvrable, plus l'effet de ce navire sur les EPC sera grand et plus il affectera la probabilité d'occurrence de l'événement.

En effet, la longueur et la manœuvrabilité d'un navire influencent le délai de réponse du navire à une manœuvre. L'évaluation de la manœuvrabilité est donc essentielle afin de déterminer le niveau de risque associé à un navire dans une situation donnée. Cette manœuvrabilité a été déterminée selon la méthodologie présentée à l'annexe 6 (*Calcul de manoeuvrabilité*).

Afin de permettre d'évaluer le risque, en fonction des variations de la taille des navires, seuls les coefficients de manœuvrabilité ont été associés aux navires. Une section permettant de modifier la longueur du navire a été prévue. Le modèle calcule alors la manœuvrabilité réelle du navire en considérant sa longueur et le coefficient obtenu lors des différents tests présentés à l'annexe 6.

Le modèle considère donc les navires suivants et leur coefficient de manœuvrabilité :

- Pétrolier 0,7133
- Pétrolier 1,0
- Pétrolier 1,5322
- Porte-conteneurs 0,8727
- Porte-conteneurs 1,2790
- Vraquier 1,0331
- Cargo 0,9775
- Ro-Ro 0,8588
- Passagers 1,00

Tableau 11 – Niveau d'influence lié à un facteur aggravant

	Conditions à l'origine des erreurs (EPC)									
N° de l'EPC	*1*	*2*	*3*	*5*	*8*	*10*	*16*	*17*	*18*	*19*
Influences sur les EPC	*Situation nouvelle*	*Pression due au temps*	*Bruit de fond*	*Affichage des informations*	*Charge de travail/ capacité*	*Transfert d'informations et de connaissances*	*Communication interpersonnelle déficiente*	*Absence de vérification des données et gestes*	*Fatigue*	*Surconfiance*
Facteurs aggravants										
Condition de glace			0,2		0,0625	0,055		0,1	0,08	0,1
Brouillard, visibilité réduite		0,12	0,3	0,2	0,1	0,03			0,1	0,1
Forts vents					0,0625	0,02			0,02	
Noirceur et navigation nocturne			0,15	0,2	0,06	0,02			0,1	0,1
Caractéristiques de performance du navire	0,15	0,12			0,025	0,15			0,1	0,1
Caractéristiques de l'équipage		0,08			0,0625	0,1	0,65	0,05	0,05	0,1
Densité du trafic		0,12			0,0625	0,055			0,1	0,1
Absence et manque d'aides à la navigation		0,05	0,05	0,2	0,05	0,1	0,2	0,2	0,05	
Sinuosité du chenal		0,12			0,08	0,01			0,1	0,1
Dimension du chenal		0,12			0,08	0,01			0,085	0,1
Courant et marée		0,12			0,08	0,01			0,085	0,1
Position et configuration de la passerelle	0,1	0,03	0,05	0,2	0,0625	0,1			0,03	
Condition du navire					0,05	0,1			0,03	
Équipement de navigation	0,75	0,12	0,125	0,2	0,0625	0,2			0,05	0,1
Contrainte externe			0,125		0,1	0,04	0,15	0,2	0,02	

Il est important de noter que le dégagement sous quille du navire n'a pas été pris en considération dans l'évaluation de la manoeuvrabilité du navire. Cette omission volontaire provient du fait qu'un nombre de composantes trop important doit être pris en considération pour obtenir une valeur applicable. Par exemple, pour obtenir le dégagement sous quille du navire, nous devons notamment prendre en compte des facteurs tels que le tirant d'eau réel du navire, la densité de l'eau, la bathymétrie, le niveau d'eau, sans oublier l'effet de squat. Il s'avère donc très difficile de prendre en compte tous ces facteurs dans le modèle actuel.

Bien entendu, le dégagement sous quille est relié au niveau de risque. Cependant, en ce qui a trait à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent, le dégagement minimal sous quille requis est fixé par la Garde côtière canadienne (GCC). Cette approche permet à la GCC, nonobstant le nombre de pilotes, de gérer le risque qui découle du dégagement sous quille.

Dans une étape ultérieure, il serait utile et pertinent d'intégrer le risque provenant du dégagement sous quille au modèle de gestion des risques pour le double pilotage

Durée du transit

Il a été démontré, au chapitre 3, que la durée du temps de travail d'un pilote est en lien direct avec son niveau de fatigue et, conséquemment, son temps de réaction et son niveau de vigilance.

De plus, lors des consultations, il a été mentionné par les divers intervenants que la durée du transit est un facteur important à considérer dans le cadre de la présente analyse de risque.

En se basant sur les données relatives à l'effet de la fatigue sur la vigilance des pilotes, un facteur relatif à la durée du voyage a été introduit. La vigilance a été préférée au temps de réaction, puisqu'une réduction de la vigilance du pilote peut entraîner une omission de sa part ou une mauvaise décision, menant potentiellement à une situation critique.

Ainsi, les niveaux de réduction de la vigilance présentés à l'annexe 1 ont été appliqués au modèle. Le niveau de fatigue du pilote est donc directement calculé en fonction de la durée du transit. Une durée de transit variant entre 1 et 18 heures peut être appliquée.

6.1.3 Sections de navigation

Puisque les différentes sections de navigation présentent chacune des caractéristiques distinctes et des difficultés propres, ces sections se doivent d'être considérées dans les scénarios de risque.

Chacune des circonscriptions (Montréal – Québec, Québec – Escoumins et Saguenay) a fait l'objet d'une analyse, afin de déterminer leur niveau de difficulté de navigation. La détermination du niveau de difficulté fut basée sur les cartes marines, l'utilisation du simulateur de navigation et les commentaires des pilotes, notamment lors des voyages effectués.

Les niveaux de difficulté ont été établis en fonction de la largeur, de la profondeur et de la sinuosité du chenal, des courants et du trafic (incluant les plaisanciers). Ainsi, le tronçon entre Montréal et Québec est considéré difficile de navigation sur 83 p. 100 de sa longueur, alors que le tronçon Québec – Escoumins (incluant le Saguenay) est considéré difficile sur 48 p. 100 de sa longueur.

Ce facteur de difficulté est utilisé dans le modèle afin de déterminer la probabilité que la chaîne d'événements se déroule dans un secteur difficile de navigation, envenimant ainsi la situation.

6.2 Utilisation du modèle

La MGRP prévoit l'élaboration de scénarios afin d'évaluer le niveau de risque associé à la navigation entre Montréal et Les Escoumins et dans le Saguenay. Cependant, afin de pouvoir identifier dans quelle circonstance un deuxième pilote, ou toute autre mesure d'atténuation, est jugé nécessaire en raison du risque, le modèle a été élaboré de façon à pouvoir aisément modifier les paramètres d'analyse dans le but d'apprécier leur incidence sur les niveaux de risque.

Tel que mentionné au début du chapitre 6, ce modèle permet d'évaluer la probabilité d'occurrence d'un scénario en considérant plusieurs éléments dont :

- le secteur de navigation;
- le type de navire et sa manœuvrabilité;
- la taille du navire;
- la durée du transit;
- la présence ou non d'un deuxième pilote à bord;
- divers facteurs aggravants.

La modification de l'un ou l'autre de ces paramètres dans le modèle, permet de noter des variations dans le niveau de risque et de dégager des tendances. De plus, puisque le modèle calcule simultanément le niveau de risque d'un scénario (en considérant la présence d'un et de deux pilotes à bord du navire, ainsi que l'application d'autres mesures d'atténuation), les effets des modifications sur l'apport du deuxième pilote ou des autres mesures d'atténuation sont facilement identifiables.

La flexibilité du modèle permet, en plus de l'analyse des scénarios définis, l'analyse d'un nombre indéfini de situations.

Afin de permettre une analyse complète et comparable des scénarios, le modèle a été utilisé de la façon suivante :

- le niveau de risque associé à chacune des erreurs initiales retenues a été calculé pour un même navire transitant dans une même section et dans les mêmes conditions de navigation;
- la moyenne des niveaux de risque a été calculée en considérant 1) que le navire devait accoster à la fin de son transit, et 2) que le navire ne devait pas accoster à la fin du transit;
- le niveau de risque a été calculé pour des transits d'une durée variant entre 1 et 18 heures.

Cette méthode de calcul permet de voir, pour un passage complet, avec ou sans accostage, le niveau de risque que l'une ou l'autre des erreurs initiales se produise en fonction de la durée du voyage. Les résultats de ces analyses sont présentés au chapitre 7.

7. Résultats

Dans cette partie du rapport, les résultats obtenus par le modèle sont présentés sous diverses formes, de façon à mettre de l'avant les performances du modèle d'évaluation de risque. Afin d'en arriver à bien analyser les résultats du modèle et d'en tirer certaines conclusions, il est important de bien saisir les composantes du modèle et leurs interactions. Les premières parties de ce chapitre visent donc à présenter certaines particularités du modèle.

7.1 Scénario et transit

Pour répondre aux besoins de la méthode de gestion des risques de pilotage (MGRP), le modèle a été conçu de façon à évaluer la fréquence et la conséquence d'un scénario de manière à obtenir le niveau de risque pour un incident particulier généré par une suite d'événements. L'enchaînement des événements pouvant mener à l'incident constitue donc le scénario.

Afin de bien couvrir la problématique du double pilotage, si l'on regroupe les scénarios élaborés, il est possible de représenter un ensemble de situations pouvant se produire lors d'un transit complet entre deux points. Encore une fois, il est important de comprendre que pour répondre à la MGRP, les scénarios ont dû être développés individuellement. Cette approche avait la particularité d'analyser une situation et d'en évaluer le risque de façon ponctuelle. Cependant, pour arriver à évaluer si un deuxième pilote est nécessaire ou non lors d'un transit, nous devons considérer non pas une situation particulière, mais un ensemble de situations pouvant se produire au cours d'un transit.

Au moment de l'élaboration des scénarios, nous avons dû nous pencher sur la possibilité d'enchaîner les scénarios de façon à arriver à former un tout qui soit représentatif d'un transit. On est à même de constater que la façon dont les scénarios sont répartis, permet, en les regroupant, d'obtenir un portrait représentatif d'un transit. Il est possible, par l'utilisation du modèle de base, en regroupant les scénarios, d'obtenir des niveaux de risque applicables à un transit. Le niveau de risque obtenu par le modèle pour un transit est donc un niveau de risque qui comprend tous les scénarios pondérés.

Il est aussi important de noter qu'un des scénarios développés est en fait applicable uniquement lors de manœuvres d'accostage. Ce scénario est pris en compte dans l'évaluation du risque uniquement lorsque l'on inclut dans le transit une manœuvre d'accostage.

7.2 Le choix des intrants

Les intrants permettant d'obtenir un niveau de risque pour un scénario sont répartis en trois groupes. Il y a ceux qui représentent, en quelque sorte, la mise en situation. Ensuite, il y a les mesures d'atténuation et finalement, il y a les facteurs aggravants. Les intrants reliés à la mise en situation ont été choisis de façon à être le plus fidèlement représentatif de la réalité que l'on retrouve lors d'un transit. Les intrants reliés aux mesures d'atténuation et aux facteurs aggravants ont été choisis suite à des consultations menées auprès des intervenants.

7.2.1 Intrants de mise en situation

Les intrants reliés à la mise en situation sont répartis en quatre catégories :

A les scénarios de base;
B les secteurs;
C les navires;
D la durée.

A. Les scénarios de base

Dans la première catégorie, on retrouve les scénarios suivants :

- le pilote donne un mauvais ordre;
- l'homme de roue fait une erreur dans l'exécution de l'ordre;
- le pilote estime mal la position du navire;
- le pilote évalue mal les conditions de navigation;
- le pilote fait une mauvaise estimation de la vitesse ou de l'angle d'approche lors de l'accostage.

Les scénarios sont sélectionnés un à la fois dans l'évaluation du risque. Dans le cas d'un transit, l'évaluation du niveau de risque sera une moyenne pondérée de l'ensemble des scénarios. À l'annexe 5 (*Scénarios*), on retrouve une présentation détaillée de chacun des scénarios.

B. Les secteurs

Il est important de noter que ceux-ci sont considérés de la même façon, peu importe si le navire effectue un transit montant ou descendant. Dans l'évaluation d'un transit, un seul secteur doit être pris en considération. Les secteurs sont les suivants :

- Escoumins – Québec
- Escoumins – Saguenay
- Québec – Trois-Rivières
- Trois-Rivières – Montréal

C. Les navires

En ce qui a trait au choix du navire, on y retrouve trois critères :

- le type de navire;
- sa manoeuvrabilité;
- sa longueur entre perpendiculaires.

Le «type» est la caractéristique la plus importante lors de l'évaluation des conséquences reliées au navire. La deuxième caractéristique est un facteur assujetti à la «manoeuvrabilité» du navire. Lorsque le facteur de ... est égal à «1», le navire possède une manoeuvrabilité moyenne pour sa longueur. Si, par contre, le facteur est supérieur à «1», la manoeuvrabilité est faible pour la longueur du navire. Inversement, si le facteur est inférieur à«1», la manoeuvrabilité est forte pour la longueur du navire. Pour les fins de construction du modèle, nous avons retenu des types de navires en fonction d'une représentativité du trafic existant sur le Saint-Laurent. On retrouve à l'annexe 6 (*Calcul de manoeuvrabilité*) la procédure d'évaluation de la manoeuvrabilité des navires qui a été employée dans le modèle.

Comme la longueur entre perpendiculaires d'un navire est la plus importante variable par rapport à sa capacité de manoeuvrer, cette dernière a été prise en considération plutôt que tout autre facteur relié à la dimension du navire et doit être sélectionnée séparément.

Les navires disponibles sont les suivants :

- pétrolier avec un facteur de manoeuvrabilité de 0,7133;

- pétrolier avec un facteur de manoeuvrabilité de 1;
- pétrolier avec un facteur de manoeuvrabilité de 1,5322;
- porte-conteneurs avec un facteur de manoeuvrabilité de 0,8727;
- porte-conteneurs avec un facteur de manoeuvrabilité de 1,279;
- vraquier avec un facteur de manoeuvrabilité de 1,033;
- cargo avec un facteur de manoeuvrabilité de 0,9775;
- roulier avec un facteur de manoeuvrabilité de 0,8588;
- passagers avec un facteur de manoeuvrabilité de 1.

D. La durée

Comme les scénarios sont basés sur une analyse des facteurs humains et que ces derniers sont reliés directement avec la fatigue, la durée d'un voyage est considérée comme un facteur des plus importants. Pour chacune des requêtes, on doit choisir une durée pour le transit. Les durées sont présentées par tranche de 1 heure d'une heure à 17 heures.

7.2.2 Les mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation sont sélectionnées une à la fois, à l'exception de celle qui implique le deuxième pilote. Comme la présente étude s'attarde spécifiquement à l'apport du deuxième pilote, cette mesure d'atténuation est calculée de façon indépendante à chacune des requêtes. En ce qui a trait aux autres mesures d'atténuation, il est nécessaire de les considérer indépendamment. Cette procédure est nécessaire afin d'éviter un recoupement qui existerait si l'on sélectionnait plus d'une mesure d'atténuation à la fois. Il s'agit d'une faiblesse dans la version actuelle du modèle qui pourrait être corrigée dans une version plus évoluée. Le modèle permet d'évaluer les mesures d'atténuation suivantes :

- réaménagement de l'espace de la timonerie;
- système d'aide à la navigation plus performant;
- navires plus manœuvrables;
- changement plus fréquent du pilote;
- application adéquate de la gestion des ressources à la passerelle;
- utilisation d'un homme de roue d'expérience;
- système de navigation électronique intégré à jour et adapté aux conditions du Saint-Laurent.

7.2.3 Les facteurs aggravants

Les facteurs aggravants, contrairement aux mesures d'atténuation, peuvent être traités plusieurs à la fois. Il est important de noter que les facteurs qui ont été pris en compte dans le modèle proviennent de consultations menées auprès des intervenants. Encore une fois, dans le développement des scénarios de base, les mesures étaient sélectionnées en fonction d'une évaluation ponctuelle d'une série d'événements. Lorsqu'il s'agit d'évaluer un transit, certains facteurs aggravants devront être sélectionnés même s'ils ne seront rencontrés que pendant une partie du transit. Les facteurs aggravants sont les suivants :

- conditions des glaces affectant la navigation;
- visibilité gravement réduite;
- vents forts;
- navigation de nuit (22 h à 8 h);
- caractéristiques et performances du navire;
- caractéristiques et performances de l'équipage (communication, expérience, formation, etc.);
- densité du trafic;
- défectuosité ou manque dans le système d'aide à la navigation normal;
- sinuosité du chenal;
- largeur du chenal;
- courants;
- position et configuration de la timonerie;
- état général du navire;
- contraintes externes.

7.3 Les sorties (extrants) du modèle

Comme nous l'avons déjà mentionné, le modèle d'analyse de risque s'intéresse plus spécifiquement aux facteurs humains. Les sorties du modèle pour l'analyse d'un transit sont donc présentées en tableau avec en abscisse la durée du voyage et en ordonnée, les mesures de mitigation. Chaque sortie a été calculée en fonction des facteurs sélectionnés. De part la complexité du modèle, il est impossible de tenter de faire des relations linéaires ou en proportion entre deux sorties différentes. L'analyse doit donc se porter sur un nombre de sorties aussi important qu'il y a de variables impliquées dans l'évaluation du risque. Dans les analyses, tout comme dans les calculs effectués par le modèle, les secteurs Québec – Trois-Rivières et Trois-Rivières – Montréal sont considérés comme étant équivalents. Il en va de même pour les secteurs Escoumins – Québec et Saguenay.

Les résultats du modèle sont numériques. De façon à permettre au lecteur d'arriver à évaluer intuitivement les nombres qui lui sont présentés, il est important de comprendre que l'échelle des résultats varie de 0 à 30. Le risque nul qui correspond à une probabilité nulle ou encore à une conséquence nulle étant représentée par le 0 et le risque maximal qui correspond à une probabilité de 1 (100 %) et une conséquence maximale de 30.

Les résultats présentés mettent en évidence les facteurs suivants :

1. Analyse comparative de la durée par secteur avec mesure d'atténuation de jour/nuit;
2. Analyse comparative de la durée par secteur en fonction de la longueur;
3. Analyse comparative des facteurs environnementaux par secteur;
4. Analyse du risque pour différents types de navire;
5. Analyse du risque lié à l'accostage;
6. Analyse du risque avec des mesures d'atténuation.

7.3.1 Analyse comparative de la durée par secteur avec atténuation jour et nuit

Dans cette sortie, les prémisses de base sont un navire de type cargo, ayant une longueur de 230 mètres, dans des conditions de navigation normales en été et de jour. Les mesures d'atténuation présentées sont le deuxième pilote ainsi qu'une application de la méthode de gestion des ressources à la passerelle telle qu'elle devrait être pratiquée dans des conditions idéales.

Notons que dans les circonstances sélectionnées, un transit effectué par un seul pilote dans le secteur de Trois-Rivières à Québec, d'une durée de 9 heures, présente un niveau de risque équivalent (0,0036) à un transit d'une durée de 13 heures dans le secteur Escoumins – Québec. Cependant, dans le cas des Escoumins – Québec, un transit de 13 heures pourrait difficilement être fait intégralement durant le jour, ce qui vient sous-estimer le niveau de risque, puisque le passage de nuit entraîne un niveau de risque plus élevé.

Autre constatation, d'après le tableau 12, le double pilotage est une mesure d'atténuation plus efficace que la gestion des ressources à la passerelle. Ce résultat s'explique par le fait que les deux pilotes, nonobstant le travail effectué par l'équipage, appliquent à la base une stratégie de gestion de leur niveau d'effort. De plus, chacun d'eux possède une connaissance locale des lieux qui leur permet d'avoir, lorsqu'un événement imprévisible se produit, un temps de réaction inférieur à celui d'un équipage et ce même si l'équipage applique de façon optimale les principes de gestion de ressources à la passerelle.

Tableau 12 – Analyse comparative de la durée par secteur de jour

Trois-Rivières – Québec
Cargo, 230 m, jours, été

Sans accostage			
Heures	*1 pilote*	*2 pilotes*	*GRP*
1	0,0035	0,0014	0,0018
2	0,0035	0,0014	0,0018
3	0,0036	0,0014	0,0018
4	0,0036	0,0014	0,0018
5	0,0036	0,0014	0,0018
6	0,0032	0,0014	0,0017
7	0,0029	0,0014	0,0016
8	0,0032	0,0014	0,0017
9	0,0036	0,0014	0,0018
10	0,0043	0,0015	0,0020
11	0,0050	0,0016	0,0022
12	0,0059	0,0017	0,0024
13	0,0067	0,0017	0,0026
14	0,0080	0,0019	0,0029
15	0,0094	0,0020	0,0032
16	0,0111	0,0021	0,0036
17	0,0130	0,0022	0,0039
18	0,0150	0,0024	0,0043

Escoumins - Québec
Cargo, 230 m, jours, été

Sans accostage			
Heures	*1 pilote*	*2 pilotes*	*GRP*
1	0,0019	0,0008	0,0010
2	0,0019	0,0008	0,0010
3	0,0019	0,0008	0,0010
4	0,0019	0,0008	0,0010
5	0,0019	0,0008	0,0010
6	0,0017	0,0008	0,0009
7	0,0015	0,0007	0,0009
8	0,0017	0,0008	0,0009
9	0,0019	0,0008	0,0010
10	0,0023	0,0008	0,0011
11	0,0027	0,0009	0,0012
12	0,0032	0,0009	0,0013
13	0,0036	0,0009	0,0014
14	0,0043	0,0010	0,0016
15	0,0051	0,0011	0,0017
16	0,0060	0,0011	0,0019
17	0,0071	0,0012	0,0021
18	0,0081	0,0013	0,0023

Appliquons les mêmes critères qu'au tableau 12 en tenant compte de deux facteurs qui se produisent en période de nuit. Le premier facteur est issu de la fatigue provenant du cycle circadien (plus particulièrement entre 22 h à 8 h). Le deuxième provient du changement de luminosité, ce qui diminue l'acuité visuelle. Le résultat est qu'en période nocturne les objets sont plus difficiles à détecter visuellement. On obtient alors le tableau 13.

Il est alors possible de constater que le niveau de risque lors de transit de nuit avec un seul pilote est équivalent à 9 heures et à moins de 12 heures pour les zones Trois-Rivières – Québec (0,0048) et Escoumins – Québec (0,0049), respectivement.

Tableau 13 – Analyse comparative de la durée par secteur de nuit

Trois-Rivières – Québec
Cargo, 230 m, été, nuit

Sans accostage			
Heures	*1 pilote*	*2 pilotes*	*GRP*
1	0,0047	0,0015	0,0020
2	0,0047	0,0015	0,0020
3	0,0047	0,0015	0,0020
4	0,0048	0,0016	0,0020
5	0,0048	0,0016	0,0020
6	0,0041	0,0015	0,0019
7	0,0035	0,0014	0,0017
8	0,0041	0,0015	0,0019
9	0,0048	0,0016	0,0020
10	0,0060	0,0017	0,0023
11	0,0074	0,0018	0,0026
12	0,0090	0,0019	0,0029
13	0,0108	0,0020	0,0032
14	0,0134	0,0021	0,0036
15	0,0163	0,0023	0,0041
16	0,0200	0,0025	0,0046
17	0,0241	0,0027	0,0052
18	0,0285	0,0029	0,0058

Escoumins – Québec
Cargo, 230 m, été, nuit

Sans accostage			
Heures	*1 pilote*	*2 pilotes*	*GRP*
1	0,0025	0,0008	0,0011
2	0,0025	0,0008	0,0011
3	0,0026	0,0008	0,0011
4	0,0026	0,0008	0,0011
5	0,0026	0,0008	0,0011
6	0,0022	0,0008	0,0010
7	0,0019	0,0008	0,0009
8	0,0022	0,0008	0,0010
9	0,0026	0,0008	0,0011
10	0,0033	0,0009	0,0012
11	0,0040	0,0009	0,0014
12	0,0049	0,0010	0,0015
13	0,0059	0,0011	0,0017
14	0,0073	0,0012	0,0019
15	0,0089	0,0012	0,0022
16	0,0110	0,0013	0,0025
17	0,0132	0,0014	0,0028
18	0,0157	0,0015	0,0031

7.3.2 Analyse comparative de la durée par secteur en fonction de la longueur du navire

Comme nous l'avons démontré au chapitre 6 (voir aussi l'annexe 6), la longueur est le facteur de dimension offrant la meilleure corrélation avec la manoeuvrabilité du navire. Il est possible avec le modèle d'évaluer, toute chose étant égale par ailleurs, le niveau de risque que représente la longueur d'un navire. Le tableau 14 présente l'impact de la longueur, tout en permettant de comparer cette dernière variable avec l'impact sur le risque que représente la durée du transit.

Le tableau 14 a été généré à partir du même navire que précédemment, c'est-à-dire dans des conditions normales en été et de nuit. Il est possible de constater la proportion d'augmentation du niveau de risque attribuable à la longueur par rapport à celle de la durée du transit.

Tableau 14 – Analyse comparative de la durée par secteur en fonction de la longueur du navire

Trois-Rivières – Québec
Cargo, nuit, été

Heures	Longueur							
	80	110	140	170	200	230	260	290
1	0,0025	0,0028	0,0032	0,0036	0,0041	0,0047	0,0053	0,0060
2	0,0025	0,0028	0,0032	0,0036	0,0041	0,0047	0,0053	0,0060
3	0,0025	0,0028	0,0032	0,0037	0,0042	0,0047	0,0054	0,0061
4	0,0025	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0054	0,0061
5	0,0025	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0054	0,0062
6	0,0022	0,0025	0,0029	0,0032	0,0037	0,0041	0,0047	0,0053
7	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	0,0031	0,0035	0,0040	0,0044
8	0,0022	0,0025	0,0029	0,0032	0,0037	0,0041	0,0047	0,0053
9	0,0025	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0054	0,0062
10	0,0031	0,0035	0,0041	0,0046	0,0053	0,0060	0,0069	0,0079
11	0,0037	0,0042	0,0049	0,0056	0,0064	0,0074	0,0085	0,0097
12	0,0044	0,0051	0,0059	0,0068	0,0078	0,0090	0,0104	0,0120
13	0,0051	0,0059	0,0069	0,0080	0,0093	0,0108	0,0125	0,0144
14	0,0061	0,0072	0,0084	0,0098	0,0115	0,0134	0,0156	0,0181
15	0,0073	0,0086	0,0101	0,0118	0,0139	0,0163	0,0190	0,0222
16	0,0087	0,0103	0,0122	0,0144	0,0170	0,0200	0,0235	0,0275
17	0,0102	0,0122	0,0145	0,0172	0,0204	0,0241	0,0284	0,0334

Tableau 14 – Analyse comparative de la durée par secteur en fonction de la longueur du navire (suite)

Escoumins – Québec
Cargo, nuit, été

Heures	Longueur							
	80	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0013	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029	0,0033
2	0,0013	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029	0,0033
3	0,0013	0,0015	0,0017	0,0020	0,0023	0,0026	0,0029	0,0033
4	0,0014	0,0015	0,0018	0,0020	0,0023	0,0026	0,0029	0,0033
5	0,0014	0,0016	0,0018	0,0020	0,0023	0,0026	0,0030	0,0034
6	0,0012	0,0014	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029
7	0,0010	0,0012	0,0013	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0024
8	0,0012	0,0014	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029
9	0,0014	0,0016	0,0018	0,0020	0,0023	0,0026	0,0030	0,0034
10	0,0017	0,0019	0,0022	0,0025	0,0029	0,0033	0,0038	0,0043
11	0,0020	0,0023	0,0026	0,0030	0,0035	0,0040	0,0046	0,0053
12	0,0024	0,0027	0,0032	0,0037	0,0043	0,0049	0,0057	0,0066
13	0,0028	0,0032	0,0037	0,0044	0,0051	0,0059	0,0068	0,0079
14	0,0033	0,0039	0,0046	0,0054	0,0063	0,0073	0,0085	0,0099
15	0,0039	0,0046	0,0055	0,0065	0,0076	0,0089	0,0104	0,0122
16	0,0047	0,0056	0,0066	0,0079	0,0093	0,0110	0,0129	0,0151
17	0,0055	0,0066	0,0079	0,0094	0,0112	0,0132	0,0156	0,0184

7.3.3 Analyse comparative des facteurs environnementaux par secteur

Le tableau 15 permet de comparer, pour un même navire dans de bonnes conditions et en se basant sur un niveau d'effort équivalent entre deux secteurs, l'impact des facteurs environnementaux sur le risque.

Tableau 15 – Analyse comparative des facteurs environnementaux par secteur

Trois-Rivières – Québec (8 heures)
Cargo, 230 m, jours, été

Facteur aggravant	*1 pilote*	*2 pilotes*	*BRM*
Normale	0,0032	0,0014	0,0017
Nuit	0,0041	0,0015	0,0019
Aides enelvées	0,0045	0,0015	0,0019
Glaces et aides enlevées	0,0056	0,0016	0,0021
Brouillard ou neige	0,0055	0,0016	0,0021
Densité du traffic	0,0043	0,0015	0,0020

Escoumins – Québec (11 heures)
Cargo, 230 m, jours, été

Facteur aggravant	*1 pilote*	*2 pilotes*	*BRM*
Normale	0,0027	0,0009	0,0012
Nuit	0,0040	0,0009	0,0014
Aides enlevées	0,0042	0,0009	0,0014
Glaces et aides enlevées	0,0059	0,0010	0,0016
Brouillard ou neige	0,0056	0,0010	0,0016
Densité du trafic	0,0040	0,0010	0,0015

L'impact sur le risque que représente le changement de saison peut être évalué par le modèle. Cette transition d'une saison à l'autre est représentée par deux étapes. Dans un premier temps, il est possible d'évaluer l'augmentation du niveau de risque causé par l'enlèvement d'aides à la navigation et de mesurer l'impact de l'arrivée des glaces.

Il est aussi possible d'effectuer la même analyse sur les facteurs environnementaux mais, cette fois-ci, en appliquant le nombre d'heures. Cette approche nous permet d'obtenir le tableau 16.

Tableau 16 – Analyse comparative des facteurs environnementaux en fonction des heures

Trois-Rivières – Québec
Cargo, 230 m

Heure	*Jour*	*Nuit*	*Bouées enlevées*	*Bouées enlevées Glaces*	*Bouées enlevées Glaces Nuit*
1	0,0035	0,0047	0,0050	0,0064	0,0091
2	0,0035	0,0047	0,0050	0,0065	0,0092
3	0,0036	0,0047	0,0050	0,0065	0,0093
4	0,0036	0,0048	0,0051	0,0066	0,0094
5	0,0036	0,0048	0,0051	0,0067	0,0095
6	0,0032	0,0041	0,0045	0,0056	0,0077
7	0,0029	0,0035	0,0038	0,0047	0,0061
8	0,0032	0,0041	0,0045	0,0056	0,0077
9	0,0036	0,0048	0,0051	0,0067	0,0095
10	0,0043	0,0060	0,0063	0,0086	0,0130
11	0,0050	0,0074	0,0077	0,0108	0,0170
12	0,0059	0,0090	0,0092	0,0134	0,0220
13	0,0067	0,0108	0,0109	0,0164	0,0276
14	0,0080	0,0134	0,0134	0,0208	0,0362
15	0,0094	0,0163	0,0162	0,0257	0,0460
16	0,0111	0,0200	0,0197	0,0321	0,0590
17	0,0130	0,0241	0,0236	0,0392	0,0736
18	0,0150	0,0285	0,0278	0,0470	0,0898

Escoumins – Québec
Cargo, 230 m

Heure	*Jour*	*Nuit*	*Bouées enlevées*	*Bouées enlevées Glaces*	*Bouées enlevées Glaces Nuit*
1	0,0019	0,0025	0,0027	0,0035	0,0050
2	0,0019	0,0025	0,0027	0,0035	0,0051
3	0,0019	0,0026	0,0027	0,0036	0,0051
4	0,0019	0,0026	0,0028	0,0036	0,0052
5	0,0019	0,0026	0,0028	0,0036	0,0052
6	0,0017	0,0022	0,0024	0,0031	0,0042
7	0,0015	0,0019	0,0021	0,0025	0,0034
8	0,0017	0,0022	0,0024	0,0031	0,0042
9	0,0019	0,0026	0,0028	0,0036	0,0052
10	0,0023	0,0033	0,0034	0,0047	0,0072
11	0,0027	0,0040	0,0042	0,0059	0,0094
12	0,0032	0,0049	0,0050	0,0074	0,0121
13	0,0036	0,0059	0,0060	0,0090	0,0153
14	0,0043	0,0073	0,0073	0,0114	0,0200
15	0,0051	0,0089	0,0089	0,0141	0,0255
16	0,0060	0,0110	0,0108	0,0177	0,0327
17	0,0071	0,0132	0,0129	0,0216	0,0407
18	0,0081	0,0157	0,0152	0,0259	0,0497

7.3.4 Analyse du risque pour différents types de navires

Dans le calcul du risque que comporte un transit, il est important de considérer que le risque est une résultante de la fréquence à laquelle un événement se produit et de la conséquence qu'a l'événement. Si l'on considère le cas de navires semblables, de mêmes dimensions, avec les mêmes caractéristiques, la fréquence avec laquelle un événement devrait se produire doit normalement être la même. Cependant, si la conséquence d'un événement varie en fonction du type de navire, le niveau de risque est directement affecté.

Dans le tableau 17, nous comparons des navires de manoeuvrabilité semblable avec les mêmes dimensions et les mêmes conditions environnantes. Les différences entre le risque que comporte les navires cargo et pétrolier proviennent donc uniquement du type de cargaison. Dans ce cas précis, la différence de risque est provoquée uniquement par la conséquence de l'incident d'un de ces navires. La probabilité d'incident est donc la même pour l'un et l'autre de ces navires.

Tableau 17 – Analyse du risque pour différents types de navires

Trois-Rivières – Québec
230 m, été, nuit, un pilote

Heure	*Cargo*	*Pétrolier*	*Passager*
1	0,0047	0,0063	0,0096
2	0,0047	0,0063	0,0097
3	0,0047	0,0064	0,0098
4	0,0048	0,0064	0,0099
5	0,0048	0,0065	0,0100
6	0,0041	0,0056	0,0085
7	0,0035	0,0047	0,0071
8	0,0041	0,0056	0,0085
9	0,0048	0,0065	0,0100
10	0,0060	0,0082	0,0129
11	0,0074	0,0100	0,0161
12	0,0090	0,0122	0,0200
13	0,0108	0,0146	0,0242
14	0,0134	0,0182	0,0307
15	0,0163	0,0221	0,0378
16	0,0200	0,0272	0,0471
17	0,0241	0,0327	0,0575

Escoumins – Québec
230 m, été, nuit, un pilote

Heure	*Cargo*	*Pétrolier*	*Passager*
1	0,0025	0,0063	0,0062
2	0,0025	0,0063	0,0063
3	0,0026	0,0064	0,0063
4	0,0026	0,0064	0,0063
5	0,0026	0,0065	0,0064
6	0,0022	0,0056	0,0055
7	0,0019	0,0047	0,0047
8	0,0022	0,0056	0,0055
9	0,0026	0,0065	0,0064
10	0,0033	0,0082	0,0081
11	0,0040	0,0100	0,0100
12	0,0049	0,0122	0,0122
13	0,0059	0,0146	0,0146
14	0,0073	0,0182	0,0182
15	0,0089	0,0221	0,0222
16	0,0110	0,0272	00274.
17	0,0132	0,0327	0,0331

En ce qui a trait au navire passagers, en plus d'avoir considéré la conséquence de ce type de navire, la configuration de la timonerie (placée à l'avant) a été prise en compte. Donc, la résultante observée sur le risque ne découle pas uniquement de la conséquence, mais aussi de la différence

dans la configuration de la timonerie qui agit sur la fréquence que produit un certain événement sur ce type particulier de navire.

7.3.5 Analyse du risque lié à l'accostage

Le modèle permet également d'évaluer le niveau de risque d'un transit en incluant une manoeuvre d'accostage à la fin du transit et comprise dans la durée totale du voyage. Il est important de comprendre que la manoeuvre d'accostage s'effectue à la fin du transit, au moment où le pilote a déjà complété une longue période de travail, souvent considérable. Le tableau 18 présente une analyse du risque lié à l'accostage.

Tableau 18 – Analyse du risque lié à l'accostage

Trois-Rivières – Québec
Cargo, 230 m, été, nuit

Impact de l'accostage avec un pilote		
Heures	*Sans acc.*	*Avec acc.*
1	0,0047	0,0052
2	0,0047	0,0053
3	0,0047	0,0053
4	0,0048	0,0054
5	0,0048	0,0054
6	0,0041	0,0046
7	0,0035	0,0039
8	0,0041	0,0046
9	0,0048	0,0054
10	0,0060	0,0069
11	0,0074	0,0085
12	0,0090	0,0105
13	0,0108	0,0126
14	0,0134	0,0158
15	0,0163	0,0194
16	0,0200	0,0240
17	0,0241	0,0291
18	0,0285	0,0347

Escoumins – Québec
Cargo, 230 m, été, nuit

Impact de l'accostage avec un pilote		
Heures	*Sans acc.*	*Avec acc.*
1	0,0025	0,0030
2	0,0025	0,0030
3	0,0026	0,0030
4	0,0026	0,0030
5	0,0026	0,0031
6	0,0022	0,0026
7	0,0019	0,0022
8	0,0022	0,0026
9	0,0026	0,0031
10	0,0033	0,0039
11	0,0040	0,0049
12	0,0049	0,0060
13	0,0059	0,0073
14	0,0073	0,0092
15	0,0089	0,0113
16	0,0110	0,0141
17	0,0132	0,0172
18	0,0157	0,0205

Pour un niveau de risque équivalent, il est possible de remarquer que le fait d'accoster le navire augmente le niveau de risque d'une façon semblable à l'augmentation de la durée du transit équivalente à une heure.

7.3.6 Analyse du risque avec des mesures d'atténuation

Une autre caractéristique du modèle est la possibilité d'effectuer des analyses de risque en intégrant des mesures d'atténuation. Ces mesures ont été présentées aux intervenants sans pour autant être validées par ces derniers. Voilà pourquoi les résultats ainsi obtenus sont présentés seulement à titre indicatif. La validation de ces mesures aurait permis de les utiliser dans la formulation de recommandations.

Voici une liste de quatre mesures d'atténuation qui ont été intégrées dans le modèle :

- deuxième pilote;
- gestion des ressources à la passerelle;
- timonier d'expérience connaissant bien la langue et le secteur;
- système de navigation intégré : il s'agit d'un système de navigation intégré répondant aux normes internationales (Ecdis, S-57, etc.) et pour lequel le personnel de bord est formé.

Le tableau 19 présente l'impact sur le risque des mesures d'atténuation sélectionnées.

Tableau 19 – Analyse du risque avec des mesures d'atténuation

Trois-Rivières – Québec
Cargo, 230 m, été, jour

Temps	*Un pilote*	*Deux pilotes*	*GRP*	*Timonier*	*Sys. nav.*
1	0,0035	0,0014	0,0018	0,0025	0,0022
2	0,0035	0,0014	0,0018	0,0025	0,0022
3	0,0036	0,0014	0,0018	0,0025	0,0022
4	0,0036	0,0014	0,0018	0,0025	0,0022
5	0,0036	0,0014	0,0018	0,0026	0,0023
6	0,0032	0,0014	0,0017	0,0023	0,0021
7	0,0029	0,0014	0,0016	0,0021	0,0019
8	0,0032	0,0014	0,0017	0,0023	0,0021
9	0,0036	0,0014	0,0018	0,0026	0,0023
10	0,0043	0,0015	0,0020	0,0029	0,0026
11	0,0050	0,0016	0,0022	0,0033	0,0029
12	0,0059	0,0017	0,0024	0,0037	0,0032
13	0,0067	0,0017	0,0026	0,0042	0,0036
14	0,0080	0,0019	0,0029	0,0048	0,0041
15	0,0094	0,0020	0,0032	0,0055	0,0046
16	0,0111	0,0021	0,0036	0,0063	0,0052
17	0,0130	0,0022	0,0039	0,0072	0,0059
18	0,0150	0,0024	0,0043	0,0081	0,0066

Tableau 19 – Analyse du risque avec des mesures d'atténuation (suite)

Escoumins – Québec
Cargo, 230 m, été, jour

Temps	*Un pilote*	*Deux pilotes*	*GRP*	*Timonier*	*Sys. nav.*
1	0,0019	0,0008	0,0010	0,0013	0,0012
2	0,0019	0,0008	0,0010	0,0014	0,0012
3	0,0019	0,0008	0,0010	0,0014	0,0012
4	0,0019	0,0008	0,0010	0,0014	0,0012
5	0,0019	0,0008	0,0010	0,0014	0,0012
6	0,0017	0,0008	0,0009	0,0013	0,0011
7	0,0015	0,0007	0,0009	0,0012	0,0010
8	0,0017	0,0008	0,0009	0,0013	0,0011
9	0,0019	0,0008	0,0010	0,0014	0,0012
10	0,0023	0,0008	0,0011	0,0016	0,0014
11	0,0027	0,0009	0,0012	0,0018	0,0015
12	0,0032	0,0009	0,0013	0,0020	0,0017
13	0,0036	0,0009	0,0014	0,0023	0,0019
14	0,0043	0,0010	0,0016	0,0026	0,0022
15	0,0051	0,0011	0,0017	0,0030	0,0025
16	0,0060	0,0011	0,0019	0,0034	0,0028
17	0,0071	0,0012	0,0021	0,0039	0,0032
18	0,0081	0,0013	0,0023	0,0044	0,0036

8. Conclusion

Pour amorcer notre conclusion, rappelons tout d'abord l'objectif principal de l'étude :

> *«Réaliser une évaluation en fonction des risques, afin de déterminer à quel moment et dans quelles circonstances l'obligation du double pilotage est valide dans la région de l'APL, ainsi que la détermination de la fonction du deuxième pilote et/ou détenteur de certificat de pilotage, le cas échéant.»*

Les auteurs devaient plus spécifiquement répondre aux questions suivantes :

- Quel est le rôle du deuxième pilote?
- Quelle est sa valeur ajoutée?
- Dans quelle mesure le deuxième pilote réduit-il le risque?
- Quand le deuxième pilote est-il vraiment nécessaire?

Nous reprendrons chacune de ces questions et proposerons une réponse découlant des analyses tirées de cette étude.

Quel est le rôle du deuxième pilote ?

Le risque que nous tentons de réduire par l'ajout d'un deuxième pilote est directement associé aux facteurs humains. Plus précisément, le deuxième pilote joue un rôle dans la réduction du risque lorsque le premier pilote ne peut accomplir seul la tâche de piloter le navire en toute sécurité. L'inventaire de la documentation, les consultations, les voyages de reconnaissance et de validation ainsi que les mémoires reçus nous mènent à conclure que cela se produit dans certaines circonstances. Le deuxième pilote devient alors une mesure pertinente et justifiée d'atténuation du risque. Cela se produit lorsque :

- les conditions d'affectation comme le délai entre l'éveil du pilote et son embarquement, la fréquence des voyages et la durée du transit entraînent une fatigue excessive;
- des facteurs aggravants liés au navire ou aux conditions environnantes accroissent le niveau de stress, augmentent la quantité d'information à traiter, rendent plus difficile la collecte de ces informations (p. ex., mauvaise configuration de la passerelle ou givre sur les vitres), réduisent le

temps de réponse disponible pour prendre une décision ou amplifient les conséquences d'une mauvaise décision.

Dans ces circonstances, le deuxième pilote apporte une contribution pertinente en relayant son collègue lorsque ce dernier est fatigué ou en l'appuyant dans la collecte et le traitement de l'information. Il participe aussi à la surveillance de la conduite du navire et de l'exécution des ordres transmis au timonier. Dans les portions de passage plus difficiles de la circonscription n° 2, le deuxième pilote est appelé à assurer une veille active pendant que son collègue assure la conduite du navire, alors que pendant le reste du passage, il assure une veille passive. Cette veille passive s'explique par la durée des passages nettement plus élevée que dans la circonscription n° 1, d'où un accroissement de la fatigue chez le premier pilote et la nécessité d'avoir un deuxième pilote pour le relayer en cours de route. Par ailleurs, dans la circonscription n° 1, plusieurs facteurs, tels la sinuosité du fleuve, l'étroitesse du chenal et les effets de courant rendent les passages difficiles sur pratiquement toute leur longueur, ainsi le deuxième pilote est en veille active de façon continue.

Quelle est sa valeur ajoutée?

Le double pilotage peut se justifier lorsque le niveau de risque avec un seul pilote atteint ou excède un certain seuil. La présence d'un deuxième pilote permet alors de ramener le risque en dessous de ce seuil prescrit. Cela se produit lorsque que le deuxième pilote réduit la probabilité d'occurrence d'un événement ou contribue à en réduire les conséquences. Il se peut que l'ajout d'un deuxième pilote ne permette pas de réduire le risque suffisamment et que d'autres mesures d'atténuation devront être apportées (p. ex., interrompre le transit en amenant le navire en zone de mouillage).

Dans quelle mesure le deuxième pilote réduit-il le risque?

Tel qu'énoncé dans les points précédents, la présence d'un deuxième pilote n'est pas toujours nécessaire ou suffisante pour maintenir le niveau de risque en dessous du seuil acceptable. Mais nous avons vu qu'elle constituait une mesure d'atténuation justifiée dans certaines circonstances. La contribution du deuxième pilote à la réduction du risque variera selon ces circonstances.

Quand le deuxième pilote est-il vraiment nécessaire ?

Comme nous l'avons vu précédemment, le deuxième pilote constitue une mesure d'atténuation justifiable lorsqu'il permet de ramener le niveau de risque en dessous d'un seuil jugé acceptable. Il est

important de préciser qu'il n'est pas ici question d'éliminer le risque. En effet, même avec un deuxième pilote, un certain niveau de risque demeure, comme en témoignent les accidents survenus lorsque deux pilotes se trouvaient à bord. Il faut donc plutôt parler de maintenir le niveau de risque en dessous d'un seuil tolérable.

Le pilotage à deux exige une méthode de travail différente de celle pratiquée par un pilote seul. Il suppose une répartition des tâches et responsabilités claire entre les deux pilotes. Compte tenu que le double pilotage ne se pratique pas de la même façon dans les deux circonscriptions, la méthode de travail va aussi différer.

Évidemment, le niveau de risque peut varier à chaque passage. Ainsi, le même navire effectuant un transit dans des conditions différentes (p. ex., la nuit plutôt que le jour ou l'hiver plutôt que l'été) entrainera un niveau de risque différent. Idéalement, il faudrait établir le niveau de risque de chaque passage, ce que permet le modèle développé dans le cadre de cette étude. Il nous faudrait ensuite comparer ce niveau de risque à une limite jugée acceptable et au-delà de laquelle on imposerait un deuxième pilote, ou une mesure d'atténuation comparable. Cette approche, au cas par cas, a l'avantage de tenir compte du niveau de risque de chaque passage plutôt que de fixer des règles basées sur une généralisation qui créera nécessairement des iniquités (des navires à risques se retrouvant exemptés du double pilotage alors que des navires qui ne posent pas de risques excessifs se verront imposer un deuxième pilote). Cette approche présente aussi l'avantage d'être évolutive et de permettre l'adaptation du modèle aux changements dans l'environnement de la navigabilité sur le Saint-Laurent (p. ex., nouvelles technologies, augmentation de la taille des navires, etc.). En outre, cette approche permet de comparer l'apport du deuxième pilote à d'autres mesures d'atténuation et de faire ainsi les choix les plus judicieux pour réduire le risque.

Cependant, l'approche au cas par cas a l'inconvénient de ne pas fournir de lignes directrices permettant de déterminer à l'avance si un deuxième pilote sera requis ou non. Pour l'Administration de pilotage des Laurentides, les pilotes et les armateurs, cela signifie davantage d'incertitudes, du moins pour les premières années d'application d'un tel régime. En effet, on peut s'attendre, qu'avec l'usage, l'application du modèle en viendrait à dégager des situations où un deuxième pilote est requis de façon systématique, comparativement à d'autres où il n'est jamais nécessaire. Entre ces deux extrêmes, resteraient les cas où l'imposition du deuxième pilote serait plus incertaine, ne pouvant être déterminée qu'au moment du passage.

Pour déterminer une réglementation basée sur le niveau de risque, sans pour autant imposer le cas par cas, nous pourrions faire appel au modèle en lui soumettant des passages théoriques. Cependant, pour couvrir l'ensemble des possibilités, il faudrait faire tourner le modèle des dizaines de milliers de fois et automatiser le traitement des résultats. Le modèle ayant été conçu pour fournir des résultats au cas par cas, il ne permet pas un traitement massif de milliers de situations à la fois. Nous avons donc restreint notre analyse à environ un millier de cas en se concentrant sur les prescriptions prévues par la réglementation actuelle, afin de valider la pertinence de cette approche. Compléter l'analyse dépasserait les limites de cette étude. Il faudrait aussi valider plusieurs éléments inclus dans le modèle, principalement en ce qui concerne les mesures d'atténuation autres que le deuxième pilote et les facteurs aggravants. Les pages qui suivent présentent la démarche suivie et les conclusions tirées de cette analyse.

Au moment d'utiliser le modèle pour revoir la réglementation en matière de double pilotage, nous avons suivi les trois étapes suivantes :

1. Définir le niveau de risque acceptable.
2. Calculer le niveau de risque observé selon différentes circonstances à partir des prescriptions contenues dans la réglementation.
3. Déterminer les circonstances où le niveau de risque avec un seul pilote excède le seuil fixé et, ce faisant, réviser les bases de la réglementation.

1. Définir le niveau de risque acceptable

Nous considérons acceptable un niveau de risque équivalent à ce que nous assumons déjà lors du passage des navires fréquentant régulièrement le Saint-Laurent. Nous avons calculé le niveau de risque pour un navire dont les caractéristiques s'apparentent à celles des vraquiers de la flotte canadienne et dont le passage se fait dans des conditions normales de navigation d'été et de nuit. Le tableau 20 présente les résultats de cette analyse. C'est à partir du tableau 20 que nous avons fixé le plafond du niveau de risque acceptable à 0,0048. Pour fixer ce seuil, nous avons d'abord analysé le niveau de risque entre Montréal et Trois-Rivières et Trois-Rivières et Québec. On remarque qu'il atteint 0,0047 dès la première heure. Malgré le creux observé à la 6e, 7e et 8e heure, le seuil retrouve son niveau initial à la 9e heure alors qu'il se situe à 0,0048. D'où le seuil que nous avons fixé. Cela correspond à un transit nocturne de 9 heures entre Montréal-Trois-Rivières ou Trois-Rivières-Québec et de plus de 11 heures entre les Escoumins et Québec. De jour, cela équivaut à un transit de 11 heures ou moins entre Montréal-Trois-Rivières ou entre Trois-Rivières-Québec et de moins de 15 heures entre

Les Escoumins et Québec. Cependant, des passages de 11 ou 15 heures peuvent difficilement être effectués intégralement le jour. C'est pourquoi notre limite est fixée en fonction du niveau de risque observé lors de passages nocturnes.

Il est à noter que, selon notre modèle, le niveau de risque aura une valeur comprise entre 0 et 30 selon la probabilité d'occurrence de l'événement à risque, l'importance des conséquences et les différentes conditions retenues. Un plafond de 0,0048 constitue donc un niveau risque qu'on peut juger très faible et qui nous apparaît acceptable. On pourrait évidemment en décider autrement et déterminer un seuil supérieur ou inférieur. Tout dépend du niveau de risque que nous sommes disposés à assumer, sachant que nous ne pouvons pas totalement l'éliminer.

Nous avons donc fixé le seuil au-delà duquel un deuxième pilote serait requis (ou toute autre mesure d'atténuation ayant un impact similaire) selon le niveau de risque maximal que nous avons établi à 0,0048, et la durée du passage (11 heures entre Les Escoumins et Québec, incluant le Saguenay, et 9 heures entre Québec et Trois-Rivières ou entre Trois-Rivières et Montréal).

2. Calculer le niveau de risque observé selon différentes circonstances à partir des prescriptions contenues dans la réglementation

Nous avons utilisé le modèle pour calculer les niveaux de risque correspondant aux conditions sur lesquelles s'appuie la réglementation actuelle pour imposer le double pilotage. Nous avons aussi procédé à des analyses qui débordaient du cadre réglementaire afin de vérifier la sensibilité des résultats au fur et à mesure qu'on s'éloignait des conditions prescrites. Nous avons retenu le traitement sur situations suivantes :

1. Deux zones de pilotage :
   1.1 Escoumins-Québec, incluant le Saguenay
   1.2 Québec-Trois-Rivières ou Trois-Rivières-Montréal
2. Trois catégories de navires :
   2.1 Navires de marchandises, autres que navires-citernes
   2.2 Navires-citernes
   2.3 Navires passagers
3. Longueur du navire : de 60 à 290 mètres par tranche de 20 mètres (9 tailles différentes)
4. Saison de navigation : Été
5. Durée du passage : entre 1 et 17 heures (17 durées différentes)

6. Moment du passage : nuit (notons qu'est considéré avoir été faits de jour que les passages ayant été intégralement réalisés pendant la période de clarté. La nuit comprend les périodes de noirceur et tout passage dont une partie seulement du passage se fait de nuit)
7. Condition particulière du passage : sans accostage

En combinant ces différents paramètres nous obtenons 816 situations réparties entre les six conditions de passage suivantes :

1. Entre Québec-Trois-Rivières ou Trois-Rivières-Montréal, navire de marchandises (autre que navire-citerne), de nuit, en été.
2. Entre Les Escoumins et Québec (incluant le Saguenay), navire de marchandises (autre que navire-citerne), de nuit, en été.
3. Entre Québec-Trois-Rivières ou Trois-Rivières-Montréal, navire-citerne, de nuit, en été.
4. Entre Les Escoumins et Québec (incluant le Saguenay), navire-citerne, de nuit, en été.
5. Entre Québec-Trois-Rivières ou Trois-Rivières-Montréal, navire passagers, de nuit, en été.
6. Entre Les Escoumins et Québec (incluant le Saguenay), navire passagers, de nuit, en été.

Les tableaux 20 à 25 présentent le niveau de risque pour les six combinaisons en fonction de la taille du navire et de la durée du transit. Le risque est estimé pour des conditions de navigation normales et pour des navires présentant une manœuvrabilité moyenne et un équipage moyen.

3. Déterminer les circonstances où le niveau de risque avec un seul pilote excède le seuil fixé et, ce faisant, réviser les bases de la réglementation

Dans le chapitre 7 nous avons présenté les résultats de l'application du modèle en fonction des conditions prescrites par la réglementation. On remarquera que comme indicateur de la taille du navire nous avons retenu sa longueur plutôt que son tonnage. En effet, la longueur a un impact direct sur la manœuvrabilité du navire et fournit une meilleure indication de la facilité avec laquelle on peut le piloter. Un autre facteur à prendre en compte est la durée du transit, laquelle a une incidence directe sur la fatigue du pilote. C'est pourquoi nous avons présenté l'information de manière à mettre en relation la taille du navire et la durée du transit. Nous avons effectué ce type d'analyses pour des navires de marchandises, des navires-citernes et des navires de passagers et ce, lors de navigation de nuit en été, pour chaque circonscription de pilotage.

Tableau 20 – Niveau de risque, circonscription n° 1, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0025	0,0028	0,0032	0,0036	0,0041	0,0047	0,0053	0,0060
2	0,0025	0,0028	0,0032	0,0036	0,0041	0,0047	0,0053	0,0060
3	0,0025	0,0028	0,0032	0,0037	0,0042	0,0047	0,0054	0,0061
4	0,0025	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0054	0,0061
5	0,0025	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0054	0,0062
6	0,0022	0,0025	0,0029	0,0032	0,0037	0,0041	0,0047	0,0053
7	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	0,0031	0,0035	0,0040	0,0044
8	0,0022	0,0025	0,0029	0,0032	0,0037	0,0041	0,0047	0,0053
9	0,0025	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0054	0,0062
10	0,0031	0,0035	0,0041	0,0046	0,0053	0,0060	0,0069	0,0079
11	0,0037	0,0042	0,0049	0,0056	0,0064	0,0074	0,0085	0,0097
12	0,0044	0,0051	0,0059	0,0068	0,0078	0,0090	0,0104	0,0120
13	0,0051	0,0059	0,0069	0,0080	0,0093	0,0108	0,0125	0,0144
14	0,0061	0,0072	0,0084	0,0098	0,0115	0,0134	0,0156	0,0181
15	0,0073	0,0086	0,0101	0,0118	0,0139	0,0163	0,0190	0,0222
16	0,0087	0,0103	0,0122	0,0144	0,0170	0,0200	0,0235	0,0275
17	0,0102	0,0122	0,0145	0,0172	0,0204	0,0241	0,0284	0,0334

Tableau 21 – Niveau de risque, circonscription n° 2, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0013	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029	0,0033
2	0,0013	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029	0,0033
3	0,0013	0,0015	0,0017	0,0020	0,0023	0,0026	0,0029	0,0033
4	0,0014	0,0015	0,0018	0,0020	0,0023	0,0026	0,0029	0,0033
5	0,0014	0,0016	0,0018	0,0020	0,0023	0,0026	0,0030	0,0034
6	0,0012	0,0014	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029
7	0,0010	0,0012	0,0013	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0024
8	0,0012	0,0014	0,0015	0,0017	0,0020	0,0022	0,0025	0,0029
9	0,0014	0,0016	0,0018	0,0020	0,0023	0,0026	0,0030	0,0034
10	0,0017	0,0019	0,0022	0,0025	0,0029	0,0033	0,0038	0,0043
11	0,0020	0,0023	0,0026	0,0030	0,0035	0,0040	0,0046	0,0053
12	0,0024	0,0027	0,0032	0,0037	0,0043	0,0049	0,0057	0,0066
13	0,0028	0,0032	0,0037	0,0044	0,0051	0,0059	0,0068	0,0079
14	0,0033	0,0039	0,0046	0,0054	0,0063	0,0073	0,0085	0,0099
15	0,0039	0,0046	0,0055	0,0065	0,0076	0,0089	0,0104	0,0122
16	0,0047	0,0056	0,0066	0,0079	0,0093	0,0110	0,0129	0,0151
17	0,0055	0,0066	0,0079	0,0094	0,0112	0,0132	0,0156	0,0184

Tableau 22 – Niveau de risque, circonscription n° 1, navire passagers, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0045	0,0053	0,0061	0,0071	0,0083	0,0096	0,0112	0,0130
2	0,0046	0,0053	0,0062	0,0072	0,0084	0,0097	0,0113	0,0131
3	0,0046	0,0053	0,0062	0,0073	0,0084	0,0098	0,0114	0,0132
4	0,0046	0,0054	0,0063	0,0073	0,0085	0,0099	0,0115	0,0133
5	0,0047	0,0054	0,0063	0,0074	0,0086	0,0100	0,0116	0,0135
6	0,0040	0,0047	0,0054	0,0063	0,0073	0,0085	0,0098	0,0113
7	0,0035	0,0040	0,0046	0,0053	0,0061	0,0071	0,0081	0,0093
8	0,0040	0,0047	0,0054	0,0063	0,0073	0,0085	0,0098	0,0113
9	0,0047	0,0054	0,0063	0,0074	0,0086	0,0100	0,0116	0,0135
10	0,0058	0,0068	0,0080	0,0094	0,0110	0,0129	0,0151	0,0176
11	0,0070	0,0083	0,0098	0,0115	0,0136	0,0161	0,0189	0,0222
12	0,0084	0,0100	0,0119	0,0142	0,0168	0,0200	0,0236	0,0279
13	0,0099	0,0119	0,0142	0,0170	0,0203	0,0242	0,0288	0,0342
14	0,0121	0,0146	0,0176	0,0213	0,0256	0,0307	0,0367	0,0437
15	0,0145	0,0176	0,0214	0,0259	0,0314	0,0378	0,0454	0,0544
16	0,0175	0,0214	0,0262	0,0320	0,0389	0,0471	0,0569	0,0684
17	0,0207	0,0256	0,0315	0,0386	0,0472	0,0575	0,0696	0,0840

Tableau 23 – Niveau de risque, circonscription n° 2, navire passagers, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0034	0,0040	0,0047	0,0055	0,0065	0,0076	0,0089	0,0104
2	0,0034	0,0040	0,0047	0,0056	0,0065	0,0077	0,0090	0,0105
3	0,0034	0,0041	0,0048	0,0056	0,0066	0,0077	0,0091	0,0106
4	0,0035	0,0041	0,0048	0,0057	0,0066	0,0078	0,0092	0,0107
5	0,0035	0,0041	0,0048	0,0057	0,0067	0,0079	0,0092	0,0108
6	0,0030	0,0035	0,0042	0,0049	0,0057	0,0066	0,0078	0,0090
7	0,0026	0,0030	0,0035	0,0041	0,0047	0,0055	0,0064	0,0074
8	0,0030	0,0035	0,0042	0,0049	0,0057	0,0066	0,0078	0,0090
9	0,0035	0,0041	0,0048	0,0057	0,0067	0,0079	0,0092	0,0108
10	0,0044	0,0052	0,0062	0,0073	0,0087	0,0102	0,0121	0,0143
11	0,0053	0,0064	0,0076	0,0091	0,0108	0,0129	0,0153	0,0181
12	0,0064	0,0077	0,0093	0,0112	0,0135	0,0161	0,0192	0,0229
13	0,0076	0,0092	0,0112	0,0136	0,0164	0,0197	0,0236	0,0282
14	0,0094	0,0115	0,0140	0,0171	0,0207	0,0251	0,0302	0,0363
15	0,0113	0,0139	0,0171	0,0209	0,0256	0,0311	0,0376	0,0453
16	0,0137	0,0170	0,0211	0,0260	0,0319	0,0389	0,0473	0,0572
17	0,0164	0,0205	0,0255	0,0315	0,0389	0,0477	0,0581	0,0705

Tableau 24 – Niveau de risque, circonscription n° 1, navire-citerne, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0033	0,0037	0,0043	0,0049	0,0055	0,0063	0,0071	0,0081
2	0,0033	0,0038	0,0043	0,0049	0,0056	0,0063	0,0072	0,0082
3	0,0033	0,0038	0,0043	0,0049	0,0056	0,0064	0,0073	0,0082
4	0,0033	0,0038	0,0044	0,0050	0,0056	0,0064	0,0073	0,0083
5	0,0034	0,0038	0,0044	0,0050	0,0057	0,0065	0,0074	0,0084
6	0,0030	0,0034	0,0038	0,0043	0,0049	0,0056	0,0063	0,0072
7	0,0026	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0047	0,0053	0,0060
8	0,0030	0,0034	0,0038	0,0043	0,0049	0,0056	0,0063	0,0072
9	0,0034	0,0038	0,0044	0,0050	0,0057	0,0065	0,0074	0,0084
10	0,0041	0,0047	0,0054	0,0062	0,0071	0,0082	0,0093	0,0107
11	0,0049	0,0057	0,0065	0,0075	0,0087	0,0100	0,0115	0,0132
12	0,0058	0,0068	0,0078	0,0091	0,0105	0,0122	0,0141	0,0163
13	0,0068	0,0079	0,0092	0,0108	0,0125	0,0146	0,0170	0,0197
14	0,0082	0,0096	0,0113	0,0133	0,0155	0,0182	0,0212	0,0247
15	0,0097	0,0115	0,0135	0,0160	0,0188	0,0221	0,0259	0,0303
16	0,0116	0,0138	0,0164	0,0194	0,0230	0,0272	0,0320	0,0376
17	0,0136	0,0163	0,0194	0,0232	0,0276	0,0327	0,0387	0,0457

Tableau 25 – Niveau de risque, circonscription n° 2, navire-citerne, en été, la nuit, selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	0,0032	0,0036	0,0042	0,0048	0,0054	0,0062	0,0071	0,0081
2	0,0032	0,0037	0,0042	0,0048	0,0055	0,0063	0,0071	0,0081
3	0,0032	0,0037	0,0042	0,0048	0,0055	0,0063	0,0072	0,0082
4	0,0032	0,0037	0,0043	0,0049	0,0056	0,0063	0,0072	0,0083
5	0,0033	0,0037	0,0043	0,0049	0,0056	0,0064	0,0073	0,0083
6	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0055	0,0063	0,0071
7	0,0025	0,0028	0,0032	0,0036	0,0041	0,0047	0,0053	0,0060
8	0,0029	0,0033	0,0037	0,0042	0,0048	0,0055	0,0063	0,0071
9	0,0033	0,0037	0,0043	0,0049	0,0056	0,0064	0,0073	0,0083
10	0,0040	0,0046	0,0053	0,0061	0,0070	0,0081	0,0093	0,0107
11	0,0048	0,0055	0,0064	0,0074	0,0086	0,0100	0,0115	0,0133
12	0,0057	0,0066	0,0077	0,0090	0,0105	0,0122	0,0141	0,0164
13	0,0066	0,0078	0,0091	0,0107	0,0125	0,0146	0,0170	0,0198
14	0,0080	0,0095	0,0112	0,0132	0,0155	0,0182	0,0214	0,0250
15	0,0095	0,0113	0,0134	0,0159	0,0188	0,0222	0,0262	0,0307
16	0,0114	0,0137	0,0163	0,0194	0,0231	0,0274	0,0324	0,0382
17	0,0134	0,0162	0,0194	0,0233	0,0278	0,0331	0,0393	0,0465

Les zones ombragées des tableaux 20 à 25 révèlent les cas où le seuil de 0,0048 est excédé ou les transits de plus de 9 heures dans la circonscription n° 1 et 11 heures dans la circonscription n° 2. Cela correspond aux cas requerrant un deuxième pilote. On remarque qu'un navire de marchandises, autre qu'un navire-citerne, effectuant un passage de nuit en été entre Québec et Trois-Rivières, devra prendre un deuxième pilote lorsque sa longueur est supérieure à 200 mètres ou, pour les navires plus petits, lorsque la durée du passage dépasse 9 heures. Entre Les Escoumins et Québec, un navire du même type effectuant un passage de nuit en été n'aura à prendre un deuxième pilote que si la durée du passage dépasse 11 heures ou, dans le cas des navires de 290 mètres, lorsque le passage dure plus de 10 heures.

Pour leur part, les navires passagers de plus de 80 mètres devront prendre un deuxième pilote entre Québec et Trois-Rivières ou entre Trois-Rivières et Montréal. Pour les navires de 80 mètres, cette règle ne s'appliquerait que si le passage excède 9 heures. Entre Les Escoumins et Québec, le deuxième pilote serait requis en tout temps pour les navires de plus de 110 mètres. Il en serait de même pour les navires de 110 mètres lorsque le passage excède 9 heures. Pour les navires entre 80 et 110 mètres, il faudrait que la durée du passage soit supérieure à 10 heures pour que le deuxième pilote soit nécessaire.

Entre Québec et Montréal, les navires-citernes de plus de 140 mètres devraient prendre un deuxième pilote peu importe la durée du passage. Pour les navires-citernes plus petits, cette règle ne s'appliquerait que si la durée du passage dépasse 9 heures. Entre Les Escoumins et Québec, les navires-citernes de plus de 140 mètres se verraient imposer un deuxième pilote en tout temps. Pour les navire de 80 mètres ou moins, le double pilotage ne s'appliquerait que si le passage est d'une durée de plus de 11 heures. Pour les navires de plus de 80 mais de moins de 110 mètres, cette règle s'appliquerait si le passage dure plus de 10 heures. Il en serait de même pour les navires de plus de 110 mètres, mais de moins de 140 mètres lorsque la durée du passage excède 9 heures.

Évidemment, pour avoir un meilleur portrait de la situation, nous devrions reprendre l'analyse pour l'été et durant la saison hivernale (lorsque les bouées lumineuses sont retirées et lorsque la glace commence à se former de façon significative), la nuit et le jour. À titre d'illustration, les tableaux 26 et 27 présentent les résultats de cette analyse pour un navire de marchandises (autre que navire-citerne) de 230 mètres. Ainsi, entre Québec et Trois-Rivières ou entre Trois-Rivières et Montréal, le niveau de risque pour un passage estival de 9 heures passe de 0,0048 la nuit à 0,0036 le jour. En hiver, le jour, il passe à 0,0051 lorsque les bouées lumineuses sont retirées et à 0,0067 lorsque la glace atteint un stade de développement rendant difficile le positionnement du navire. Cela s'explique par le fait que la glace vient alors cacher des espars et déformer l'image radar de la côte. La nuit, en hiver, lorsque les bouées sont retirées et la glace suffisamment formée, il passe à 0,0095.

Tableau 26 – Niveau de risque, circonscription n° 1, navire de marchandises (autre que navire-citerne), longueur de 230 mètres, selon la saison et la durée du passage

Heure	*Jour*	*Nuit*	*Bouées enlevées*	*Bouées enlevées Glaces*	*Bouées enlevées Glaces Nuit*
1	0,0035	0,0047	0,0050	0,0064	0,0091
2	0,0035	0,0047	0,0050	0,0065	0,0092
3	0,0036	0,0047	0,0050	0,0065	0,0093
4	0,0036	0,0048	0,0051	0,0066	0,0094
5	0,0036	0,0048	0,0051	0,0067	0,0095
6	0,0032	0,0041	0,0045	0,0056	0,0077
7	0,0029	0,0035	0,0038	0,0047	0,0061
8	0,0032	0,0041	0,0045	0,0056	0,0077
9	0,0036	0,0048	0,0051	0,0067	0,0095
10	0,0043	0,0060	0,0063	0,0086	0,0130
11	0,0050	0,0074	0,0077	0,0108	0,0170
12	0,0059	0,0090	0,0092	0,0134	0,0220
13	0,0067	0,0108	0,0109	0,0164	0,0276
14	0,0080	0,0134	0,0134	0,0208	0,0362
15	0,0094	0,0163	0,0162	0,0257	0,0460
16	0,0111	0,0200	0,0197	0,0321	0,0590
17	0,0130	0,0241	0,0236	0,0392	0,0736
18	0,0150	0,0285	0,0278	0,0470	0,0898

Tableau 27 – Niveau de risque, circonscription n° 2, navire de marchandises (autre que navire-citerne), longueur de 230 mètres, selon la saison et la durée du passage

Heure	*Jour*	*Nuit*	*Bouées enlevées*	*Bouées enlevées Glaces*	*Bouées enlevées Glaces Nuit*
1	0,0019	0,0025	0,0027	0,0035	0,0050
2	0,0019	0,0025	0,0027	0,0035	0,0051
3	0,0019	0,0026	0,0027	0,0036	0,0051
4	0,0019	0,0026	0,0028	0,0036	0,0052
5	0,0019	0,0026	0,0028	0,0036	0,0052
6	0,0017	0,0022	0,0024	0,0031	0,0042
7	0,0015	0,0019	0,0021	0,0025	0,0034
8	0,0017	0,0022	0,0024	0,0031	0,0042
9	0,0019	0,0026	0,0028	0,0036	0,0052
10	0,0023	0,0033	0,0034	0,0047	0,0072
11	0,0027	0,0040	0,0042	0,0059	0,0094
12	0,0032	0,0049	0,0050	0,0074	0,0121
13	0,0036	0,0059	0,0060	0,0090	0,0153
14	0,0043	0,0073	0,0073	0,0114	0,0200
15	0,0051	0,0089	0,0089	0,0141	0,0255
16	0,0060	0,0110	0,0108	0,0177	0,0327
17	0,0071	0,0132	0,0129	0,0216	0,0407
18	0,0081	0,0157	0,0152	0,0259	0,0497

On peut ainsi en conclure qu'un navire de cette taille n'aurait pas à prendre un deuxième pilote, en été, lorsque la totalité de son passage s'effectue de jour. Toutefois, en hiver, il lui faudrait un deuxième pilote en tout temps dès le retrait des bouées lumineuses.

Entre Les Escoumins et Québec, le niveau de risque d'un passage estival de 11 heures passe de 0,0040 lorsqu'il s'effectue de nuit à 0,0036 le jour. En hiver, le jour, l'imposition d'un deuxième pilote ne s'appliquerait que pour les passages de plus de 10 heures et lorsque la glace est formée (le simple retrait des bouées lumineuses ne suffit pas). Cependant, lors d'un passage nocturne en hiver, un deuxième pilote serait requis en tout temps lorsque la glace est suffisamment formée.

Évidemment, il nous faudrait poursuivre l'analyse pour couvrir les différentes tailles et catégories de navires et tenir compte des passages avec accostage. En effet, l'accostage, qui arrive généralement à la fin d'un passage, demande un niveau de concentration et d'attention élevé de la part du pilote. Il ne peut effectuer cette tâche de façon sécuritaire s'il est trop fatigué. Lorsqu'on applique le modèle d'analyse de risque, on remarque que le fait d'avoir à accoster le navire viendrait réduire de 1 à 2 heures la durée maximale d'un passage. Il faudrait compléter l'analyse des différentes situations pour être plus précis à ce sujet. En somme, il faudrait reprendre les résultats présentés dans les tableaux 20 à 25 pour couvrir les passages de jour en été, de jour et de nuit en hiver (sans bouées et avec glaces) et avec ou sans accostage, en été et en hiver, le jour et la nuit. Pour ce faire, il faudrait soumettre au modèle 8 976 cas de plus que les 816 utilisés pour générer les résultats apparaissant dans les tableaux. Nous pourrions aussi être intéressés à étudier des intervalles de longueur plus petits que 30 mètres. À titre d'exemple, des intervalles de 10 mètres, de 70 à 300 mètres, ajouteraient 10 608 traitements additionnels. En tout, 29 376 traitements devraient être réalisés pour couvrir l'ensemble des situations nécessaires à l'établissement d'un nouveau cadre réglementaire qui tiendrait compte des conditions de base analysées par le modèle.

Ajoutons à cela que les cas traités dans les tableaux 20 à 25 ne considèrent aucune autre mesure d'atténuation que le deuxième pilote et ne tiennent compte que de facteurs aggravants rencontrés lors d'un passage normal tels le vent, le courant et la sinuosité et la dimension du chenal. Parmi les autres mesures d'atténuation présentes dans notre modèle mais non appliquées dans les cas traités, nous retrouvons, notamment, l'application efficace des méthodes de gestion des ressources à la passerelle, l'expérience du timonier à la navigation sur le Saint-Laurent et un système de navigation électronique performant, conforme aux normes et comprenant des cartes électroniques à jour. Parmi les facteurs aggravants, nous retrouvons, notamment, un navire en mauvaises conditions, un équipage inexpérimenté et un système de navigation de mauvaise qualité ou détectueux. Générer

des résultats qui reprendraient les différentes combinaisons de mesures d'atténuation et de facteurs aggravants viendraient ajouter des dizaines de milliers d'analyses additionnelles à celles prévues précédemment. Bien que cela soit possible, il faudrait automatiser le traitement et l'analyse des résultats. Il faudrait aussi compléter la validation des mesures d'atténuation autres que l'ajout du deuxième pilote et les facteurs aggravants.

Les résultats présentés dans les tableaux précédents confirment la pertinence d'utiliser un modèle comme celui développé dans le cadre de cette étude pour estimer le niveau de risque en matière de double pilotage. Faute d'utiliser ce modèle au cas par cas, lors du passage des navires, nous avons démontré qu'il pourrait servir à revoir le cadre réglementaire en le soumettant à un nombre suffisamment important de passages théoriques. Cependant, pour compléter ce travail, le modèle devra être bonifié, particulièrement en ce qui concerne la validation des mesures d'atténuation, autres que le deuxième pilote, et les facteurs aggravants. Il faudra aussi optimiser le traitement et l'analyse des résultats.

9. Recommandations

À la suite des conclusions présentées précédemment, nous proposons six recommandations.

Recommandation n° 1 : Établissement d'un niveau de risque acceptable

Le modèle développé dans le cadre de ce projet a permis de démontrer la faisabilité d'établir quantitativement le niveau de risque associé au passage des navires dans le Saint-Laurent. Il a aussi permis d'évaluer la contribution du deuxième pilote à la réduction de ce risque. La pertinence du deuxième pilote est fonction du niveau de risque que nous sommes prêts à accepter. Selon notre modèle, le niveau de risque peut prendre une valeur située entre 0 et 30. À partir du niveau de risque actuel, compte tenu des conditions dans lesquelles se pratique le double pilotage, nous avons établi un niveau maximal de 0,0048 avec un seul pilote. Au-delà de ce seuil, un deuxième pilote devra être affecté.

Recommandation n° 2 : Durée du passage

En ce qui concerne la durée du passage, l'analyse nous révèle qu'un passage de 11 heures dans la circonscription n° 2 présente un niveau de risque comparable à un passage de 9 heures dans la circonscription n° 1 pour des navires de la taille de ceux fréquentant couramment le Saint-Laurent. Nous recommandons de maintenir la limite de 11 heures dans la circonscription n° 2, mais de réduire celle de la circonscription n° 1 à 9 heures.

Recommandation n° 3 : Utilisation de la longueur entre les perpendiculaires du navire

Contrairement à la réglementation actuelle, qui utilise le port en lourd comme indicateur de la taille du navire, nous croyons plutôt préférable d'utiliser la longueur entre les perpendiculaires du navire et ce, pour toutes les catégories de navires. En effet, la longueur entre les perpendiculaires a davantage d'impact sur la manoeuvrabilité du navire et, de ce fait, sur le niveau de risque qu'il représente en situation de pilotage en eaux restreintes.

Recommandation n° 4 : Établissement de grilles d'affectation du double pilotage

Le niveau de risque maximal de 0,0048 et la durée maximale du passage de 9 heures dans la circonscription n° 1 et de 11 heures dans la circonscription n° 2 fournissent les balises qui serviront à

établir les règles qui imposeront un deuxième pilote selon la taille du navire. Nous recommandons de bâtir des grilles d'affectation pour chacune des circonscriptions en tenant compte des conditions suivantes :

1. Trois catégories de navires : navires de marchandises (autres que navires-citernes), navires-citernes et navires passagers;
2. Saison de navigation : été, hiver (à partir de l'enlèvement des bouées lumineuses et à partir d'un stade de formation des glaces);
3. Moment du passage : jour ou nuit;
4. Condition particulière du passage : avec ou sans accostage.

Les figures 4 à 7 illustrent l'application de ce type de grilles pour les navires de marchandises (autres que navires-citernes), les navires-citernes et les navires passagers lors de passages la nuit en été. Des grilles similaires pourraient être développées à l'aide du modèle pour couvrir les autres conditions prescrites précédemment. Un total de 72 grilles seraient nécessaires pour couvrir l'ensemble des conditions (3 catégories de navires X 3 saisons X 2 moments de passage X 2 conditions particulières X 2 circonscriptions).

Recommandation n° 5 : Autres mesures d'atténuation et facteurs aggravants

D'autres mesures d'atténuation pourraient être envisagées pour réduire le risque sans avoir recours à un deuxième pilote. Dans le cadre de cette étude, nous en avons envisagées principalement trois :

- l'application efficace des méthodes de gestion des ressources à la passerelle;
- l'expérience de l'équipage par rapport à la navigation sur le Saint-Laurent;
- un système de navigation électronique performant, conforme aux normes et comprenant des cartes électroniques S57 à jour.

La présence de l'une ou l'autre de ces mesures pourrait éviter de devoir recourir à un deuxième pilote. Cependant, notre modèle se doit d'être validé avant de pouvoir moduler la réglementation à ce sujet. Il faudrait aussi prévoir des mécanismes d'évaluation qui permettront de déterminer si ces mesures sont effectivement présentes et si elles rencontrent des exigences qui sont aussi à définir.

Figure 4 – Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 1, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	Simple pilotage							
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10	Double pilotage							
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Figure 5 – Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 2, navire de marchandises (autre que navire-citerne), en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	Simple pilotage							
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12	Double pilotage							
13								
14								
15								
16								
17								

Figure 6 – Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 1, navire passagers, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	Simple pilotage	Double pilotage						
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Figure 7 – Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 2, navire passagers, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	Simple pilotage			Double pilotage				
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Figure 8 – Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 1, navire-citerne, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	Simple pilotage			Double pilotage				
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Figure 9 – Grille d'affection du double pilotage, circonscription n° 2, navire-citerne, en été, la nuit selon la longueur du navire et la durée du passage

Heure/Longueur	*80*	*110*	*140*	*170*	*200*	*230*	*260*	*290*
1	Simple pilotage			Double pilotage				
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Par ailleurs, il se peut aussi que des facteurs viennent aggraver la situation et rendre le passage d'un navire plus risqué. Pour établir les grilles des figures 4 à 9, nous avons supposé des conditions de navigation normales, un navire de manoeuvrabilité moyenne et en bonne condition et un équipage moyen. Si un navire devait se retrouver dans des conditions moins favorables, le niveau de risque pourrait augmenter suffisamment pour excéder le seuil de risque minimal. Ce navire, pourtant exempté du double pilotage selon la grille, aurait dû se voir imposer un deuxième pilote.

L'intégration des autres mesures d'atténuation et des facteurs aggravants viendrait alourdir considérablement l'application des grilles d'affection prévue dans la recommandation n° 4. Il semble difficile de l'envisager en dehors d'une application du modèle au cas par cas. Pourtant, on ne peut négliger les autres moyens de réduire le risque, de même que les différents facteurs pouvant contribuer à l'augmenter. À cela s'ajoute le fait que les conditions du pilotage ne cessent d'évoluer alors que les changements à la réglementation se font très lentement (les dernières modifications remontent à une dizaine d'années).

Recommandation n° 6 : Poursuite du développement du modèle

Le modèle a démontré qu'il était possible d'établir de façon objective le niveau de risque associé au passage des navires dans le Saint-Laurent. Cependant, son développement devra être complété si nous voulons définir l'ensemble des grilles d'affection du double pilotage tel que le suggère la quatrième recommandation. En effet, il reste à accélérer le traitement de milliers de passages théoriques et à optimiser l'analyse des résultats. Il serait aussi sûrement souhaitable de bâtir une interface facilitant l'utilisation du modèle par le non-initié.

Par ailleurs, nous avons vu aussi que le modèle est en mesure d'évaluer l'impact d'autres mesures d'atténuation et l'incidence de facteurs aggravants. Cependant, il reste encore du travail de validation pour que cette partie du modèle réponde adéquatement aux besoins. Réaliser ce travail pourrait servir à moduler l'application des grilles d'affectation. Cela permettrait aussi d'explorer plus en profondeur l'utilisation du modèle en tant qu'outil d'affectation du deuxième pilote sans avoir à recourir aux grilles.

C'est pourquoi nous recommandons de poursuivre le développement du modèle.

Bibliographie

Arnedt, J., Wilde, G., Munt, P., and MacLean, A. (2000) Simulated driving performance following prolonged wakefulness and alcohol consumption: separate and combined contributions to impairment. *Journal of Sleep Research*, 9:233-241.

Arnedt, J., Wilde, G., Munt, P., and MacLean, A. (2001) How do prolonged wakefulness and alcohol compare in the decrements they produce on a simulated driving task? *Accident Analysis and Prevention*, 33 (3): 47-54.

Audet, J. et Victor, A. (1999) *Programme de formation pour le certificat de pilotage dans la région des Laurentides (Circonscription II Québec-Les Escoumins), Vol. 1 : Élaboration du programme de formation*, TP 13458F, Centre de développement des transports, Transports Canada.

Audet, J. et Victor, A. (1999) *Programme de formation pour le certificat de pilotage dans la région des Laurentides (Circonscription II Québec-Les Escoumins), Vol. 2 : Guide pédagogique et Guide d'évaluation – Renseignements généraux*, TP 13458F, Centre de développement des transports, Transports Canada.

Audet, J. et Victor, A. (1999) *Programme de formation pour le certificat de pilotage dans la région des Laurentides (Circonscription II Québec-Les Escoumins), Vol. 3 : Guide d'évaluation* (protégé). TP 13458F, Centre de développement des transports, Transports Canada.

Australian Transport Safety Bureau (2002) Investigation into the contact by the Russian flag container ship *Maksim Mikhaylov*. ATSB report 168.

Australian Transport Safety Bureau (2002) Investigation into the grounding of the Greek registered ship *Doric Chariot*. ATSB report 182.

Australian Transport Safety Bureau (2003) Investigation into the grounding of the Liberian registered container ship *ANL Excellence*. ATSB report 181.

Axys Environmental Consulting *et al.* (2000) *Évaluation des effets cumulatifs – Atelier de formation*. Préparé pour l'Agence canadienne d'évaluation environnementale.

Batchelor Marine Consulting Services Inc. (2002) *Review of the 105 mile rules.*

Berger, Y. (1984) *Port Phillip Sea Pilots: An Occupation at Risk.* PhD Thesis; Latrobe University – Australia.

Bernier (1970) Rapport de la Commission royale d'enquête sur le pilotage. *Étude sur le pilotage au Canada.*

Bourgeois, L.P., Cimon, P. et Larouche, L. (1998) *Rapport final du comité d'étude sur le fardeau occupationnel des pilotes du Bas-Saint-Laurent.*

Brander-Smith, D., Therrien, D. and Tobin, S. (1990) Rapport Brander-Smith – *Examen public des systèmes de sécurité des navires-citernes.*

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1990) *Échouement du* ENERCHEM FUSION, numéro de rapport de sécurité M90L3011.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1991a) *Collision entre le* CANADIAN EXPLORER *et le* LAFRENAIS, numéro de rapport de sécurité M91L3031.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1991b) *Talonnage du* IRVING NORDIC, numéro de rapport de sécurité M91L3012.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1991c) *Échouement du* HALIFAX, numéro de rapport de sécurité M91L3015.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1992) *Passage rapproché entre le* IRVING CANADA *et le* TERRA NOVA, numéro de rapport de sécurité M92L3028.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1993a) *Heurt violent par le vraquier* NIRJA *du pétrolier* HAMILTON ENERGY, numéro de rapport de sécurité M93C003.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1993b) *Bottom contact of the bulk carrier* CANADIAN EXPLORER, numéro de rapport de sécurité M93L0001.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1993c) *Échouement du* TRANSASPIRATION, numéro de rapport de sécurité M93W0011.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1995a) *Échouement du* OLYMPIC MENTOR, numéro de rapport de sécurité M95C0120.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1995b) *Collision entre le* CICERO *et le* ZIEMIA ZAMOJSKA, numéro de rapport de sécurité M95L000.

Bureau de la sécurité des transports (1995c) *Étude de sécurité portant sur les rapports de travail entre les capitaines et officiers de quart et les pilotes de navires*, numéro de rapport de sécurité SM9501.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1996) *Quasi-abordage entre le paquebot de croisière* STATENDAM *et le remorqueur-barge* BELLEISLE SOUND/RADIUM 622, *Passage Discovery, Colombie-Britannique*, numéro de rapport de sécurité M96W0187.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1997a) *Heurt violent du pétrolier* IRVING ARCTIC, *Traverse de Cap-Santé, fleuve Saint-Laurent, Québec*, numéro de rapport de sécurité M97L0019.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1997b) *Échouement du vraquier* VENUS, *Port de Bécancour, fleuve Saint-Laurent, Québec*, numéro de rapport de sécurité M97L0030.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1997c) *Échouement du vraquier* RAVEN ARROW, numéro de rapport de sécurité M97W0197.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1998a) *Échouement du* ALGOLAKE, numéro de rapport de sécurité M98C0066.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1998b) *Contact with bottom by bulk carrier* PACIFIC DOLPHIN *and tug* SEASPAN FALCON, *Port Moody, British Columbia*, numéro de rapport de sécurité M98W0019.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1999a) *Échouement du* PATERSON, numéro de rapport de sécurité M99C0003.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1999b) *Échouement du* SUNNY BLOSSOM, numéro de rapport de sécurité M99C0027.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1999c) *Échouement du* NORWEGIAN SKY, numéro de rapport de sécurité M99L0098.

Bureau de la sécurité des transports du Canada (1999d) *Échouement et perte totale du vraquier* ALCOR, numéro de rapport de sécurité M99L0126.

Comité de la sécurité maritime, Organisation maritime internationale (2001) *Guidance on fatigue mitigation and management.*

Corporation des pilotes du Bas-Saint-Laurent (2003) *Étude de risque nécessitant le double pilotage dans la circonscription n° 2 de la région de l'Administration de pilotage des Laurentides.*

Corporation des pilotes du Saint-Laurent central (2001) *Rapport d'évaluation du navire porte-conteneurs* Cast Progress.

Corporation des pilotes du Saint-Laurent central (2002) *Analyse des risques en matière de pilotage pour la circonscription n° 1 de la région de l'Administration de pilotage des Laurentides.*

Corporation des pilotes du Saint-Laurent central (2003) *Application de la MGRP à la pratique du double pilotage dans la circonscription n° 1 de la région de l'Administration de pilotage des Laurentides.*

Dancosse, G. (1993) Rapport Dancosse – *Étude du double pilotage pour les navires citernes et passagers et la période de navigation d'hiver.*

Dawson, D. and Reid, K. (1997) Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, 388: 235.

Dawson, D., Roach, G., Reid, K., and Baker, A. (1997) *Australian railways: shiftwork and workload analysis – final report.* University of South Australia – Centre for Sleep Research.

Dawson, D., Fletcher, A. and Hussey, F. (1999) *Fatigue and transport: Report to the Neville Committee.* University of South Australia – Centre for Sleep Research.

DDH Environnement Ltée (2002) *Évaluation des risques en relation avec la taille, la jauge et le type de navires canadiens assujettis au pilotage obligatoire sur le fleuve Saint-Laurent – Module 1.*

DDH Environnement Ltée (2003) *Analyse statistique des accidents et des incidents impliquant des navires commerciaux canadiens et étrangers survenus sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay.*

Duran, Jean-Yves (2000) *Arbitrage sur le double pilotage concernant les navires* Canmar Pride, Canmar Honour *et* OOCL Belgium.

Falleti, M., Maruff, P., Collie, A., Darby, D., and McStephen, M. (2003) Qualitative similarities in cognitive impairment associated with 24 h of sustained wakefulness and a blood alcohol concentration of 0,05%. *Journal of Sleep Research*, 12 (4): 265-274.

Garde côtière canadienne (1999) *Lignes directrices sur les manœuvres dans les voies navigables canadiennes : paramètres de conception d'un chenal*, Division du développement des voies navigables, Services des aides à la navigation, Pêches et Océans Canada.

Garde côtière canadienne (2001) *Rapport sur les essais de systèmes portatifs DGPS sur le Saint-Laurent*, Division des aides à la navigation, Direction des Programmes maritimes, Pêches et Océans Canada.

Gauthier, J. (1996) *Rapport d'examen concernant les exemptions de pilotage et la certification dans la région de l'Administration de pilotage des Laurentides.*

Grier, R., Warm, J., Dember, W., Matthews, G., and Galinsky, T. (2003) The vigilance decrement reflects limitations in effortful attention, not mindlessness. *Human Factors* 45 (3): 349-359.

Harrison, Y. and Horne, J. (2000) The impact of sleep deprivation on decision making: a review. *Journal of Experimental Psychology – Applied*, 6 (3): 236-249.

Hensen, H. (1999) *Ship bridge simulators a project handbook*, Nautical Institute.

Hockey, G., Healey, A., Crawshaw, M., Wastell, D., and Sauer, J. (2003) Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control. *Human Factors* 45 (2): 252-265.

Innovation maritime (2002) *Étude sur les limites de l'utilisation des cartes électroniques pour le pilotage en eaux restreintes.*

Jacques, Y., Pelletier, S. et Ringuette, G. (2001) *Rapport sur les essais de systèmes portatifs DGPS sur le Saint-Laurent.*

Judson, B., Shortreed, J., and Reid, J.D. (1999). *Méthode de conception fondée sur le risque pour les aides à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent*, Centre de développement des transports, Transports Canada et Garde côtière canadienne, TP 13468F.

Kriebel, D.L., Mayer, R.H. and Water, J.K. (1999) *Impacts of navigation trends on channel usage and design.*

LaHaye, G. (1992) *Étude sur les facteurs et situations de risques en matière de pilotage – Zones de pilotage obligatoires.*

Lamond, N. and Dawson, D. (1999) Quantifying the performance impairment associated with fatigue. *Journal of Sleep Research*, 8: pp. 255-262.

Lapouche L. (1998) *Rapport final du Comité d'étude sur le fardeau occupationnel des pilotes du Bas Saint-Laurent.*

Luna, T.D., French, J., and Mitcha, J.L. (1997). A study of USAF air traffic controller shiftwork: Sleep, fatigue, activity, and mood analyses. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 68(1)*, 18-23.

Moray, N. (1986) Monitoring behaviour and supervisory control. In Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J. (eds.) *Human Perception and Human Performance: Volume II.* New York; Wiley.

Parasuraman, R. (1986) Vigilance, monitoring, and search. In Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J. (eds.) *Human Perception and Human Performance: Volume II.* New York; Wiley.

Parker, A. Briggs, L., Hubinger, L., Folkard, S., and Green, L. (1998) *A Survey of the Work and Sleep Patterns of Great Barrier Reef Pilots.* Canberra; Australian Maritime Safety Authority.

Paul, M. and Guerrier, P. (2000) PEPEC : *A Response Guide Dealing with Protecting Public Health in Case of Drinking Water Contamination by an Oil or Chemical Spill on the St.Lawrence River*, 23e colloque technique du programme de lutte contre les déversements d'hydrocarbures en mer et dans l'Arctique (AMOP), Vancouver (C.-B.), juin 2000, Compte rendu, Environnement Canada, Ottawa, pp. 987-990.

PIANC-AIPCN (International Navigation Association) (1997) *Approach channels, a guide for design.*

Rhodes & Associates (2003) *Fatigue Management Training for Canadian Marine Pilots*, TP 14127E, Centre de développement des transports, Transports Canada.

Rhodes, W. and Gil, V. (2002) *Development of a Fatigue Management Program for Canadian Marine Pilots*, TP 13958E, Centre de développement des transports, Transports Canada.

Rhodes, W., Heslegrave, R., Ujimoto, K.V., Hahn, K., Zanon, S., Marino, A., Côté, Szlapetis, I., Pearl, S. (1996) *Impact of Shiftwork on Air Traffic Controllers, Phase II: Analysis of Shift Schedule Effects on Sleep, Performance, Physiology and Social Activities.* TP 12816E, Centre de développement des transports, Transports Canada.

Ricard, M. et Thériault, F. (2002) *Évaluation des risques en relation avec la taille, la jauge et le type de navires canadiens assujettis au pilotage obligatoire sur le fleuve Saint-Laurent – Module 2.*

Rosekind, M.R., *et al.* (1994) Fatigue in operational settings: Examples from the aviation environment. *Human Factors* 36: 327-338.

Saint-Laurent Vision 2000 et Institut national de santé publique du Québec (2000). *Guide d'intervention en cas de déversement en milieu fluvial pour les directions régionales de santé publique du Québec*, Programme Saint-Laurent Vision 2000, domaine d'intervention Santé humaine.

Shipley, P. (1978) *A Human Factors Study of Marine Pilotage*, Department of Industry, U.K.

Société linnéenne du Québec et Les Amis de la vallée du Saint-Laurent (2003). *Le pilotage maritime sur le Saint-Laurent et l'analyse des risques : synthèse sommaire des informations et des analyses.* Stratégie Saint-Laurent — Commission environnementale.

Temple, J., Warm, J., Dember, W., Jones, K., Le Grange, C. and Matthews, G. (2000) The effects of signal salience and caffeine on performance, workload, and stress in an abbreviated vigilance task. *Human Factors* 42 (2): 183-194.

Transports Canada (1995) *Document de travail sur le pilotage maritime au Canada.*

Transports Canada (1995) *Politique maritime nationale.*

Transports Canada (1996) *Loi maritime du Canada.*

Transports Canada (1999) *Examen ministériel des questions demeurées en suspens – Rapport au Parlement.*

Transports Canada (2001) *Méthode de gestion des risques de pilotage (MGRP)*, Direction générale de la sécurité maritime, TP 13741F.

Transports Canada (2002) *Contrôle des navires par l'État du port*, Direction générale de la sécurité maritime, TP 13595.

Transports Canada (2003) *Évaluation de l'impact potentiel des nouveaux navires porte-conteneurs de 294 m de longueur sur la sécurité de la navigation et la protection de l'environnement – Rapport d'étape.*

US Coast Guard (1990) *The effect of ship inherent controllability on pilot performance : the simulator experiment CG-D-10-90.*

US Coast Guard (1991) *The effect of ship inherent controllability on pilot performance : evaluation and prediction CG-D-10-93.*

U.S. Department of naval architecture (1999) *Analysis of US Coast Guard accident data; Impacts of navigation trends on channel usage and design.*

Westheimer, G. (1986) The eye as an optical instrument. In Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J. (eds.) *Human Perception and Human Performance: Volume II.* New York; Wiley.

Wickens, C. (1999) *Engineering Psychology*. Englewood Cliffs; Prentice Hall.

Williams, J.C. (1988) *A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance*. 4th IEEE Conference on Human Factors in Nuclear Power Plants. New York: Institute for Electrical and Electronic Engineers, pp. 436-450.

Williamson, A., Feyer, A., Mattick, R., Friswell, R., Finlay, S. (2001) *Developing measures of fatigue using an alcohol comparison to validate the effects of fatigue on performance*. ATSB, Report 189. Canberra; Australian Transport Safety Bureau.

ANNEXE 1

Revue de la littérature des facteurs humains (en anglais seulement)

Human Factors Literature Review

Two-Pilot Risk Assessment Project

1. Human Factors Issues

Human factors concerns were examined in the marine incident investigation reports and other related documentation. Details are discussed in the following sections. A number of general human factors issues were identified during the review. These included:

- The impact of fatigue on performance
- Nature and level of mental workload and its relationship to performance
- Piloting requirements for sustained vigilance and response time
- Limitations of human perception
- Cognitive aspects of Bridge Resource Management (BRM)

2. Human Factors Issues Affecting Single and Two-Pilot Operations

This section addresses the human factors issues that are likely to have the greatest effect on single and two-pilot operations. The discussions are supported by the relevant research and information provided by experts in human factors. Specific incidents as described by TSBC safety reports that may apply are also indicated.

2.1 Impact of Fatigue on Pilot Performance

Fatigue is a known factor for marine pilot operations where irregular working hours can lead to sleep debts and building fatigue levels (Berger, 1984; Parker et al., 1999; Rhodes and Gil, 2002; and Shipley, 1978). The TSBC has identified severe fatigue as a contributing factor to several incidents:

- Grounding of the Raven Arrow (TSBC, 1997a)
- Hamilton Energy striking by the Nirja (TSBC, 1993a)
- Bottom contact by the Canadian Explorer (TSBC, 1993b)
- Grounding of the Venus (TSBC, 1997b)

The Australian Transportation Safety Bureau (ATSB) has also identified a number of incidents where fatigue was a major contributing factor.

- ATSB report number 181 – Grounding of the ANL Excellence – Pilot missed visual cues and ordered incorrect course alteration, as well as not following his usual procedure for that section of pilotage. (ATSB, 2003)
- ATSB report number 168 – contact by the Russian flag container ship Maksim Mikhaylov – The pilot showed signs of fatigue and an analysis of his sleep indicated that

during the passage his levels of fatigue were over the accepted threshold according to a fatigue risk-based assessment.

- ATSB report 182 - grounding of the Greek registered ship Doric Chariot – rather than just resting, the pilot fell asleep at a point in the passage when he needed to monitor the ships location and prepare for an alteration.

2.1.1 Fatigue Effects on Reaction Time and Vigilance Performance

Several research teams (Arnedt et al., 2000 and 2001; Dawson and Reid, 1997; Lemond and Dawson, 1999; and Williamson et al., 2000) have measured the impact of fatigue on vigilance and reaction time, comparing these results directly to the results of the same measurements while the subjects were performing the same tasks while having 0.05 and 0.10 percent blood alcohol concentration (BAC). Falleti et al. (2003) examined qualitative effects of alcohol or fatigue on attention, memory, learning, and decision-making, finding similar or greater negative effects of fatigue compared with the effects of 0.05 percent BAC.

Figures 1-1 and 1-2 have been taken from research carried out by scientists (Dawson and Reid, 1997; Lemond and Dawson, 1999; Williamson et al., 2000) investigating the comparative performance changes that occur when affected by specific levels of blood alcohol or hours of wakefulness. The research mentioned here has been replicated and verified elsewhere (Arnedt et al., 2000 and 2001; Falleti et al., 2003). Pilot performance is includes several cognitive activities including decision making, attention, communications, reaction time and vigilance. Two performance factors of utmost importance for marine pilots are reaction time and vigilance. Any decrement in reaction time and vigilance can be critical to effective pilotage.

Figure 1-1 (adapted from Williamson et al., 2000) shows the potential performance of pilots after being awake for 4 hours and carrying a 4-hour sleep debt. The graph's data is taken directly from Williamson et al. (2000) and overlaid with the hours for the passage and the estimated sleep debt (accumulated hours of lost sleep due to the irregular work hours) and time awake prior to the passage (i.e. waiting for the ship). The lost hours of sleep estimate is based on the fact that Canadian marine pilots, on average, only get about 4.5 to 5 hours of sleep during the day when working through the night (Rhodes and Gil, 2002). Given that a majority of transits are at night, particularly during the winter where almost all are through the night in the lower St. Lawrence, the pilots usually have a few night passages in a row before having a few days of night-time sleep to recover. Note that in Figure 1-1, the pilot is likely to be performing below acceptable levels after being awake for 11 hours.

Even without a sleep debt (Figure 1-2) the pilot will begin to experience poorer reaction time performance halfway through an 11-hour passage. In fact, just after 7 hours of passage the pilot can expect to be performing below acceptable levels (similar to having a 0.10 % blood alcohol concentration or BAC). It is highly likely that this situation will worsen as the pilot remains awake for longer periods of time. Note in Figure 1-2 that after 7 hours of passage, reaction time is suboptimal. This would be an ideal time for the pilot to be relieved.

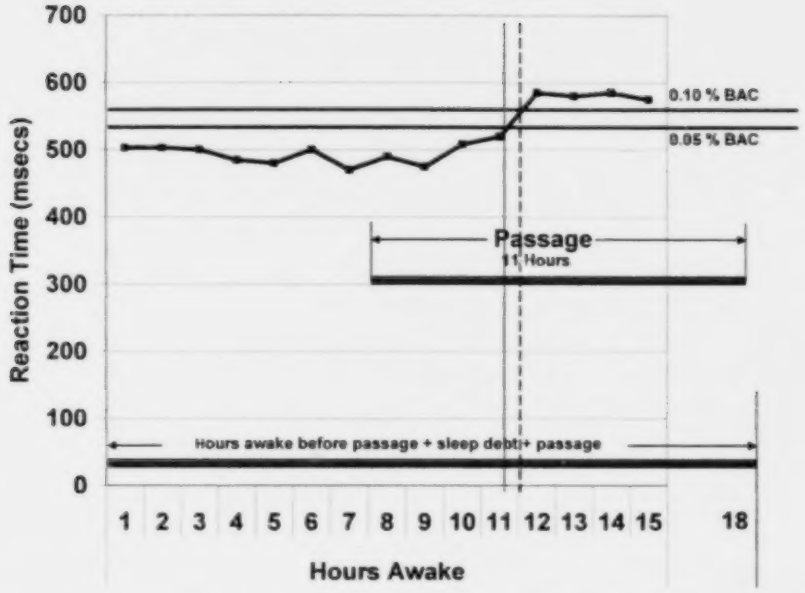


Figure 1-1 Reaction Time (Adapted from Dawson and Reid, 2001)

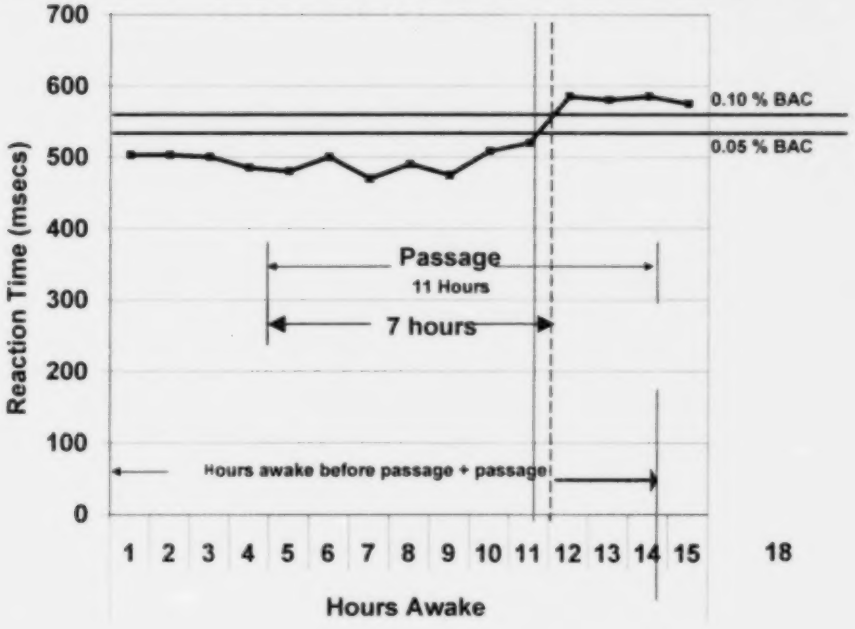


Figure 1-2 Reaction Time Performance without Prior Sleep Debt (Adapted from Dawson and Reid, 2001)

Figure 1-3 shows the expected vigilance performance after being awake for several hours and suffering a sleep debt of only 4 hours. At the end of an eleven-hour passage the pilot will be functioning well below acceptable levels. Note that at this point he/she would be performing at a level that is similar to that found if he/she had had a few drinks. This comparison is suggested because we all can identify with the change in our abilities after we ingest certain levels of alcohol. It is important to understand that fatigue has a similar effect and that if we do not get relief soon when in such a state, we can become increasingly less able to perform our duties effectively. if this pilot was then to dock the vessel at a port at the end of the passage, that individual will be operating at a suboptimal level of visual and reaction time performance.

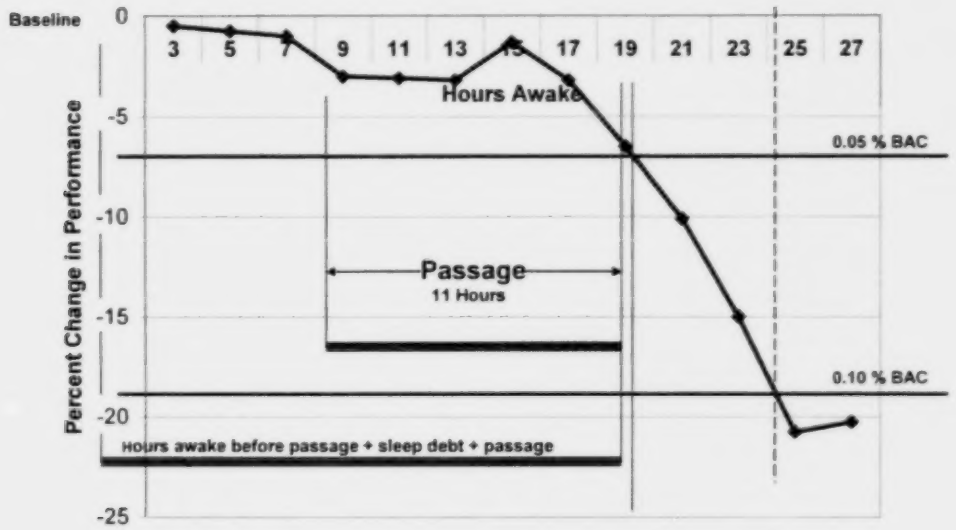


Figure 1-3 Vigilance Performance (Adapted from Dawson and Reid, 2001)

Working through the night also requires that the pilot work at a time when the body would rather be sleeping. This results in an additional reduction in performance caused by the increase in sleepiness that occurs between 02:00 and 06:00. When this further decrease in performance is added to that caused by the fatigue due to long hours awake, the pilot will find that he/she must work harder to maintain an acceptable level of performance.

The longer the pilot remains awake, the greater the impact on performance. After 11 hours of wakefulness, working between 02:00 and 06:00 results in suboptimal reaction time performance. Periods of wakefulness greater than 17 hours will result in suboptimal vigilance performance when working through the 02:00 to 06:00 time period. In fact similar levels of performance can be expected when working less lours than that above if the pilot is already sleep deprived. As mentioned above, this is probable given the pilot's irregular work hours and high likelihood of daytime sleep rather than sleeping during the night (Rhodes and Gil, 2002).

Since pilots work irregular shifts and scheduling pilotage is highly unpredictable, the pilotage, pilots and shipping companies must understand fatigue and mange fatigue risk as well as

practicable. Rules for the assignment of pilots to ships should take fatigue risk and the duration of passages into account. Some pilotage corporations in Australia are already applying fatigue risk rules in the assignment of pilots (described in ATSB incident report 181 – ATSB, 2003).

2.2 Mental Workload

2.2.1 Nature of Mental Workload

Mental workload is the measure of the amount of mental resources being used at any given time. The resources are limited and their use depends on individual differences and interactions. For example, cognitive tasks involve the use of memory, information processing (including decision making), and perception. These are the resources available to humans working doing cognitive activities. The limits of each of these resources vary for each person, and the choice of how they are used is variable. Consequently, several strategies exist that can be used to manage these resources while problem solving and responding to changing information. Some will rely on memory more, while others will reduce the number or priority of the tasks they must handle. Some will rely on their ability to process data quickly, moving on to each of the next tasks in rapid succession. The point where the limits of mental workload is exceeded can be described as that point where the human operator can no longer effectively apply the strategies, and performance begins to degrade unacceptably. People can recognize this and report when this happens. Furthermore, their physiology can also indicate when such a state occurs. Heart rate will increase and brainwave activity will show tell-tale spikes in the waveforms.

The implication that arises from the nature of mental workload is that the working environment must be such that the limits of this use of mental resources, i.e. mental workload, is not reached, particularly during the performance of critical tasks. However, the lack of activity and stimulus will also evoke similar physiological responses when people are under stimulated and then must respond to a critical situation. They will feel overwhelmed and find it difficult to "get-up-to-speed". In fact, if this situation continues the same subjective feelings and physiological responses seen when mental workload is high, will appear when people are trying to fight to remain awake and handle critical tasks infrequently. Such a situation occurs every night in air traffic control centres, petro-chemical plants, power plants, and in aircraft cruising long distances. These situations typically involve low activity characterised by occasional monitoring and handling of infrequent critical events. To maintain this vigilance people must increase their efforts to remain awake, alert, and able to perform their tasks at acceptable levels.

Workload issues have been identified in several TSBC incident reports. For example, equipment failure (no radar available) and a abrupt change to (sudden squall) poor visibility rapidly increased the workload for the pilot controlling the Trans Aspiration (TSBC incident report M93W0011 – TSBC, 1993). The pilot lost his situational awareness and misidentified a buoy he used for navigation. This situation prevented the pilot from developing a correct mental map of the ship's actual location. The ship's crew could not provide the correct information since the radar was not available and none of the ship's bridge crew had been monitoring the ship's progress. The lack of available information caused the pilot to resort to a manual procedure (sighting the navigational aids by eye) in zero visibility conditions. This approach involved taking sightings from several locations in the wheelhouse, while trying to consolidate the sketchy information available. Since the alteration decision point was approaching very quickly, the pilot

had to make rapid decisions to determine the ship's location and thus relied on false information to navigate.

Another case involved the Pontoporos (TSBC incident report M96L0111 – TSBC, 1996a). The pilot was navigating the ship out of port into the St. Lawrence River. Since the ship's keel was only a few feet above the channel bottom, the ship handled poorly. The manoeuvring took place a night and the pilot had to take note of several cues to ensure he knew where the ship was located in the channel. The procedure is labour intensive and requires that the pilot be able to distinguish navigational aids from several lights and landmarks. Radar is not typically used for this manoeuvre. The pilot was not aware of the amount of drift occurring, likely due to the need to sort out the confusion of lights and the fact that he chose to communicate his position and intension to VTS at a critical point in the manoeuvre. This increased workload beyond the pilot's capability.

Another situation of the effect of increased workload occurred when the OOW on the self-loading bulk carrier Paterson who was certified to conduct pilotage became overwhelmed with too many tasks as a result of combining his OOW duties with his pilotage duties (TSBC incident report M99C0003 – TSBC, 1999a). The officer relied on visual sightings of leading lights and buoys to navigate, in conjunction with the electronic charting system. The absence of a buoy and the fact that the ship was in the starboard side of the channel following a previous passing, increased the pilotage task load. Due to this increase in task load the OOW did not have time to plot the ship's progress, and consequently, confirm the ship's location in the channel, using the radar. Momentary confusion caused by the misidentification of a navigational aid, and the ship's location in the starboard side of the channel, caused the OOW to apply an incorrect procedure for the alteration, and lose precious time to make the correct alteration at the correct time.

Finally, workload issues were evident in the grounding of the Norwegian Sky passenger Vessel (TSBC incident report M99L00098 – TSBC, 1999b). The coordination of tasks was not adequate, nor were there enough officers on the bridge to handle the extra tasks introduced when non-procedural manoeuvring was required for unplanned whale watching activities. Certain critical elements of tasks were ignored while the bridge crew and the pilot attended to their normal tasks, along with additional tasks to support the manoeuvres for whale watching. Since none of the crew, nor the pilot were familiar with the use of advanced navigational aids that would have automatically handled certain parts of their main tasks, each member of the crew and the pilot surpassed their workload limits by using standard manual methods. This resulted in the crew and the pilot losing track of the ship's position during the difficult, non-standard manoeuvres.

The task of pilotage requires considerable cognitive resources sometimes continuously, such as during navigation of highly sinuous sections of the river, during docking procedures, passing other ships in narrow sections of the channel, and when entering locks and canals. There is considerable evidence that shows that tasks similar to those occurring during pilotage require skills and cognitive actions that can be sustained for only short periods of time (maximum two hours – Parasuraman, 1986; Wickens, 1999). This is why air traffic controllers must be relieved every two hours or less depending on the traffic levels. These and other studies have shown that vigilance tasks degrade significantly within 30 minutes (Temple et al., 2000) and even within 10 minutes (Grier et al., 2003). Stress and fatigue accelerate this effect, causing performance to

decline even sooner (Horne et al., 1983). In narrow, sinuous portions of the river, pilots must plan and make alterations and adjustments every couple of minutes, while also monitoring the ship's position in the channel and location in the river. Parasuraman (1986) illustrates this effect as it applies to the time it takes to detect a target on a radar screen. Figure 1-4 shows the results of observations of air traffic controllers charged with the task of identifying aircraft (targets) while attending to other routine tasks. After one hour the time to detect the targets becomes much longer. This trend continues over time. This is a similar situation for pilots where the marine pilot must maintain communications with VTS, the ship's crew, and monitoring important stimuli.

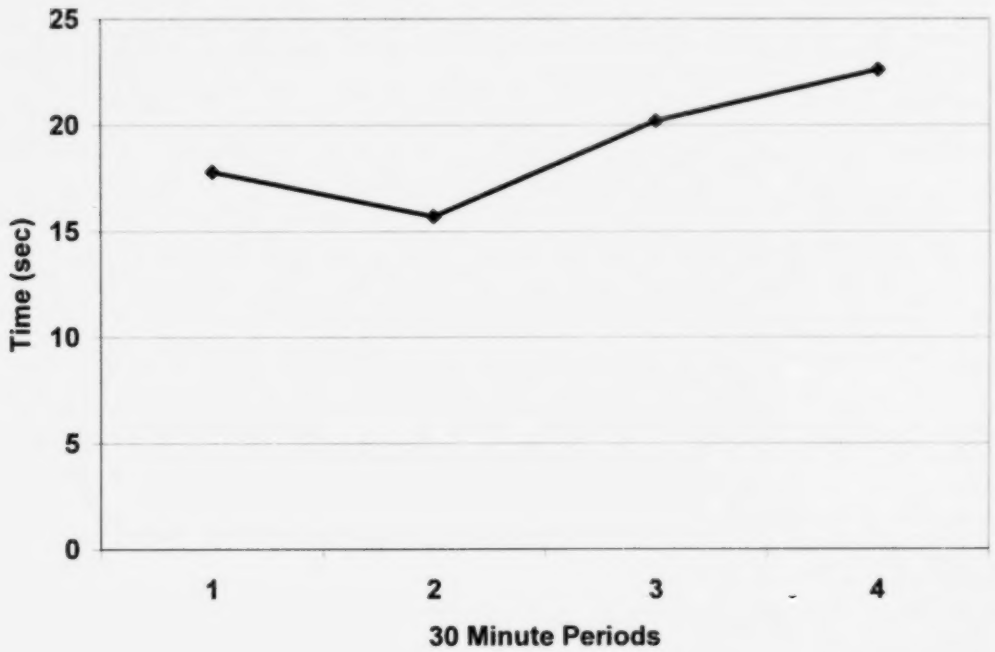


Figure 1-4 Effect on Performance of the Amount of Time Spent on a Detection Task (from Parasuraman, 1986)

This type of activity incurs heavy mental workload (Hockey et al., 2003), particularly in more challenging weather and river conditions. It is highly likely that pilots working in such conditions experience periods of performance decay that is below acceptable limits. That is, periods of time where vigilance must be relaxed to allow relief from the task load. These points of relaxed vigilance probably occur between alterations. However, it is also highly likely that the pilot may not be able to relax his or her vigilance and may work harder to maintain adequate vigilance and attention (as indicated by Grier et al., 2003). Since this increased workload will

increase levels of fatigue (Temple et al, 2000) more substantial relief from the task may be necessary, to maintain adequate vigilance and attentional performance.

One occupational safety scientist (Berger, 1984) in Australia measured the heart rate and adrenaline levels of marine pilots and compared these data to similar data from many professions, including air traffic controllers and airline pilots. The results were that marine pilots showed higher levels of stress during normal navigation than any of the other professions. The fact that pilots regularly maintain high levels of skill while engaging in tasks that are highly stressful and fatiguing for periods of time much longer than this shows their tremendous dedication and diligence to the job. These levels will be higher in more difficult passages.

2.2.2 Multiple Demands on Cognitive Resources

Increased mental and physical workload will be experienced by marine pilots during busy periods, inclement weather, with crews that are less skilled, fatigued, or both, or on ships that have less than adequate equipment on board or by any combination of theses conditions. The impact on marine pilot performance when workloads approach the limits of the pilot's abilities will result in some very predicable decrements. For example, when a marine pilot must perform multiple tasks, such as talking to MTS on the radio, attending to the view of the channel through the windscreen, checking that the heading indicated is correct, and checking the radar for ship's position in the channel, the pilot will likely be at capacity. Any additional task, interruption, or change in prevailing conditions, will require that the pilot drop one or two of the existing tasks, or ignore the additional ones. This kind of cognitive resource management and the research that supports the concept is described by Wickens (1999). Another approach may include reducing the effort required for a specific task. This involves lowering standards (e.g. using less accurate or incomplete information) or truncating (e.g. leave out a step). People use strategies to lessen workload by deciding what task is most important and relevant to the situation and will consider other actions only when workload declines or the primary task is no longer necessary. This way the human operator can protect the mission by focussing on the task most relevant to the immediate goals.

These strategies include:

- Dropping tasks;
- Ignoring new tasks;
- Reducing the effort for each task.

Problems (i.e. bad outcomes) occur when the operator becomes confused, standards are critically lowered, crucial steps are omitted, or important information is missed.

Examples of this type of situation can be found in TSBC and ATSB safety reports, such as:

- TSBC safety report M95L0008 – Collision between the Ziemia Zamojska and the Cicero – helmsman did not keep ship on course ordered by pilot who was busy watching the on-coming ship pass on the port side (TSBC, 1995);
- TSBC safety report M96W0187 – Near collision between the Statendam and the Belleisle Sound/Radium 622 – Pilot was focussed on the turn which was performed using an

unfamiliar procedure, ignoring important information about oncoming traffic (TSBC, 1996b);

- TSBC safety report M96L0111 – Grounding of the Pontoporos – Pilot relied on outside visual information only to manoeuvre in fast current conditions, electing to not use radar to ascertain the ships position in the channel (TSBC, 1996b).

These are examples of focussing on a primary task without utilizing related secondary tasks to ensure good performance. The circumstances were such that the pilots were likely at the limits of their cognitive resources and could not allocate time to secondary tasks that would have helped them avoid the problem at hand. Of course, this is where effective bridge resource management should be applied either through second pilot or an OOW that is dedicated to supporting the pilot.

2.2.3 Positive Impact of Cognitive Resource Sharing

The sharing of cognitive tasks can sometimes be a useful strategy to reduce the mental workload that a pilot may experience during times of higher workload. This is consistent with BRM philosophy and procedures. However, this cognitive sharing must be helpful and not add to the already high mental workload existing at the time. The main criteria for determining whether cognitive tasks can be shared are:

- The cognitive task is within the experience and knowledge base of the individual accepting and performing the task;
- The secondary task (checking radar for vessel's location in the channel, verifying landmarks with the charts) is only indirectly relevant to the pilot's prime task at hand, which would be navigation (i.e. attending to navigational aids, scanning for landmarks, watching for the alignment of range lights, issuing commands, etc.,);
- The secondary task is not directly relevant to the pilot's secondary tasks that are directly relevant to the prime task of navigation (e.g. communicating with the MTS to provide a position report or checking heading indicator while monitoring the ship's progress).

Sharing of tasks can be very successful. The working relationships between the pilot and crew, or with another pilot, are more positive and effective. If the relationship is negative and uncooperative, task sharing will not be successful. Fatigue or lack of BRM training can grossly degrade communications and cooperation, preventing effective task sharing.

Examples of poor BRM contributing to marine incidents are numerous and include:

- Grounding of the Paterson (TSBC, 1999a) – the OOW was certified to pilot his own vessel but neglected to share his OOW tasks with another officer while attending to his piloting tasks, thus taking on more work than would be acceptable for effective piloting.
- Grounding of the Norwegian Sky (TSBC, 1999b) – the pilot and the crew did not co-ordinate their job tasks effectively and all neglected to monitor the ship's location relative to the shore.

- Collision between the Ziemia Zamojska and the Cicero (TSBC, 1995) – the pilot and crew were all focussed on the passing ship and did not notice that the opposing ship's passage would be too close.
- Grounding of the ANL Excellence (ATSB incident report 181). The bridge crew did not monitor the ship's passage or the pilot's actions, nor did the pilot follow his normal procedure to use his electronic charting system to verify the ship's location, given that the navigational aids were not functioning normally.

There were several other reports where poor bridge resource management was cited and where the pilot would have benefited from information that would likely have prevented the incident. Although there remains the question as to whether such information would be reliably available from the crew, the provision of that information is clearly seen as necessary to allow the pilot to perform his tasks at an acceptable level. In most of the instances cited, the ship's location according to output from the radar, an electronic charting system, or plots on the paper chart would have prevented incorrect alterations that led to the incident. This information could come from either the officer monitoring the ship's location and plotting this information on a chart every two to five minutes (depending on the frequency of the alterations), or close monitoring of the ship's location on an electronic chart or the radar. This task could be done by a ship's officer dedicated to the task of monitoring the ship's location, or another pilot.

2.3 Length of Time to Sustain Effective Vigilance

Vigilance is a function of a person's ability to attend to stimuli, keep track of this information, and update the information as time passes. It is affected by several factors including:

- Experience and skills of the person;
- Limitations of humans to attend to stimuli;
- The strength of the signal to noise ratio;
- Limitations of humans to monitor complex situations.

2.3.1 Attentional Capacity

The pilot's main concern is the safe navigation of the ship. This involves alert, constant vigilance that requires attention to information external to the ship, as well as in wheelhouse. The pilot must keep track of time to ensure that course alterations are made at the appropriate time, coincidental with the location of landmarks and navigational aids. These course alterations then must be verified by information provided by the heading and speed indicators. In conditions of darkness, poor visibility, and high traffic, the radar must be checked often. Attending to information that has this level of importance, can be tiring and the time that this type of cognitive activity can be sustained is limited. Serious degradation in sustained vigilance performance is expected to begin to occur after about 30 minutes, but is completely unacceptable after 2 hours (Parasuraman, 1986 – see Figure 1-4 above in section 2.2.1). Under good visibility and calm conditions, pilots can probably maintain reasonably acceptable vigilance performance up to 2 hours, since due to their experience and knowledge of the river may allow them to relax from the vigilance task for a few minutes during a straight portion or less critical of the river.

However, in poor visibility, strong current, ice, or high winds, the pilot will be less able to perform effective vigilance for more than less than an hour. In fact, acceptable sustained performance may be difficult to achieve for even a few minutes. It is likely, that under these conditions, pilots will have to apply strategies to alleviate their sustained attention, such as checking the radar for the vessel's position in the channel, communicating with ship's crew for verification of the ship's location and landmarks etc., or some other useful diversion. As mentioned earlier, under high workload conditions a second pilot aboard will help to reduce the fatiguing effects of the vigilance task, and will allow the pilot in control to attend to other less-demanding tasks, while someone takes over control for a while.

2.3.2 Impact of Attentional Capacity on Target Detection

The job of a pilot involves recognizing stimuli (targets) in amongst various conditions of obscuration to varying degrees. Range lights, landmarks, locator beacons, buoys, other vessels, and obstacles all must be discernable from the background clutter, through fog, rain, snow, and darkness. The strength in which a target is distinguishable from the background "noise" or clutter is called the signal to noise ratio. A person's ability to resolve targets against considerable clutter suffers from decay over time. If the signal to noise ratio is low (i.e. the noise is almost as prominent as the target) the decay is greater. Attending to targets in such a situation will be fatiguing and within a short time (minutes) the observer will become ineffective (Parasuraman, 1986). In poor visibility conditions, where the radar images are obscured by fog or riverbank geography is distorted by ice, outside cues will still be critical for navigation. A second pilot to relieve the pilot in control after 30 minutes to an hour will be a useful strategy to maintain acceptable performance.

One strategy that is used to reduce this decay is to sample the scene, rather than stare at it (Moray, 1986). Pilots likely do this since the ship is moving at a slow enough pace, identification of targets may be improved by sampling over a period of time to compare to other targets that may help the pilot form a mental model that is consistent with his/her understanding of the world as learned through experience. Of course there is a danger of mistakenly identifying the wrong targets and forcing a false model onto a given situation that is not true. This is when the pilot misreads the targets which he/she uses as cues for course alterations and makes a turn at the wrong spot in the channel. Having a knowledgeable second pilot aboard who is sharing the duties can help here as well.

2.4 Perceptual Limitations

2.4.1 Limitations of Human Vision

Humans have limited ability to detect light and movement, hence resolving static and dynamic images. They also have limited ability to discern an object with varying degrees of contrast against the background. Such limitations affect the pilot's ability to pick a target out against a background. Contrast and movement will be affected by dark conditions. Age will affect the pilot's ability to adapt to dark and light conditions, and the ability to focus in dark conditions (Westheimer, 1986). When working at the threshold of these limits, the eye becomes more quickly fatigued and less able to perform its functions. Furthermore, constant exposure to these conditions can result in a diminishing ability to attend to details (Parasaruman, 1986). Therefore,

where the ability to detect targets is degraded by fog, river smoke, heavy snow or rain, bright lights, or other such conditions, pilots will experience diminishing effectiveness over time to the point where relief is likely necessary.

2.4.2 Influence of False Targets on the Development of Mental Models

Target confusion happens to pilots when they are confronted with considerable noise (background lights) or when the targets are arranged in a pattern similar to that existing in the pilot's mental model of the situation (TSBC, 1993; 1995; 1996; and 1997a). The former problem is common on the St. Lawrence, and the proliferation of lights along its banks is growing. The pilot can be distracted by these background lights and may miss important cues as to where the vessel may be located in the channel. Beacons and buoy lights may become less obvious and momentarily blend into the background clutter. Trying to focus on them can be tiring and can cause the pilot to spend more time on the task of monitoring the vessels progress through use of the outside cues, ignoring important information on radars and electronic chart displays or the heading and speed indicators. The latter problem is possibly less a problem on the St. Lawrence but is a problem nevertheless. Some landmarks and navigational aids can look very similar at times, especially in low visibility conditions. It the pilot does not check the radar or electronic chart display for the vessel's location in the channel, it is possible to mistaken them as a turn point. For ships that are less familiar with the river and on ships that are difficult to navigate in confined water, knowledge of the region will be critical. A second pilot may be a better resource to the pilot in control than the ship's crew.

2.5 Cognitive Aspects of Bridge Resource Management

Bridge resource management is the team management of a process. In the case of marine pilotage this involves the coordination of bridge personnel to effect safe navigation of the waters designated for pilot assistance. The addition of the pilot to the bridge team is the addition of knowledge and skills not existing in the ship's bridge team. However, the responsibility of safe passage remains with the ship's bridge officers, and ultimately with the ship's master. The bridge team must utilize the pilot's skills and knowledge as effectively as possible. This process involves concentrated cognitive task coordination. The TSBC has investigated this type of coordination and its benefits for successful navigation (TSBC, 1995). The report addresses the issue of crew staffing levels and the special nature of pilotage in very restricted conditions and the specific difficulties faced by pilots when bridge crews are not able to provide adequate support. These include the lack of knowledge that crew possess with respect to the pilotage process and the fact that ship's crews are often very fatigued. These are critical deficits in the process if pilots are to rely on a ship's bridge crew to provide adequate support.

2.5.1 Effective Role Allocation for Pilots and Ships' Masters

The pilot's contribution to the safe passage of the ship involves the provision of navigation directives that that bridge team must follow unless it is clear that the pilot has failed to perform his or her job tasks to an acceptable level (TSBC, 1995). This requires that the master or OOW monitor the pilot's performance and support the pilot as best as possible to ensure that the pilot meets the goals of the mission. This support consists of monitoring the ship's passage and location in the channel and providing this information to the pilot, providing the pilot with all

relevant information of the ship's performance characteristics; and the bridge crew's understanding of the plan of passage followed by the pilot. It is the responsibility of the pilot to provide accurate directions to the bridge crew based on his/her knowledge of the waters, and to cooperate with the crew if he/she should fail to act upon critical information, provide incorrect direction (command), or find that he/she may require assistance. This process will be successful only if effective communications is maintained between the pilot and the bridge crew. Where conditions are such that workload for the bridge crew is abnormally high or the crew is not able to perform all of the tasks required to effectively support the pilot, than another pilot may be needed to assist. Such conditions may include serious ice build up in the channel, abnormally poor weather conditions, fast complex currents, traffic conditions that are abnormally dense, ships that push the margin of safety beyond normal piloting procedures, or ships that are carrying a payload that poses a high risk to the environment or public safety.

2.5.2 Importance of Communications

Bridge resource management involves the sharing of information and coordinated actions of all personnel responsible for the ship's navigation and safe passage. The effectiveness of communications is a function of the following:

- Quality of the working relationship established during the initial passage planning;
- Quality of the communication channels used (affected by language, noise, poor equipment);
- Quality of the communications procedures as written and practiced;
- Quality of the training, skills, and confidence of the pilot and bridge crewmembers;
- Level of performance, health, and well being of the pilot and the bridge crewmembers.

The personality of each person on the bridge will also have an influence on the ability to communicate with others. Training, good procedures, and positive experiences with effective BRM can improve the individual's ability to practice good communication skills. The BRM process must be seen as valuable by all if communications are to be effective.

2.5.3 Need for Clear Procedures

Clear BRM procedures and process is necessary for acceptance by pilots and bridge crews. Standard approaches that have been tested and tried in real working environments must be adopted. These procedures should be learned by personnel through intensive scenario-based training in high fidelity simulators, and practiced during actual voyages under the supervision of experienced trainers.

References

Arnedt, J., Wilde, G., Munt, P., and MacLean, A. (2000) Simulated driving performance following prolonged wakefulness and alcohol consumption: separate and combined contributions to impairment. *Journal of Sleep Research*, 9:233-241.

Arnedt, J., Wilde, G., Munt, P., and MacLean, A. (2001) How do prolonged wakefulness and alcohol compare in the decrements they produce on a simulated driving task? *Accident Analysis and Prevention*, 33 (3): 47-54.

ATSB (2002) Investigation into the contact by the Russian flag container ship *Maksim Mikhaylov*. ATSB report 168.

ATSB (2002) Investigation into the grounding of the Greek registered ship *Doric Chariot*. ATSB report 182.

ATSB (2003) Investigation into the grounding of the Liberian registered container ship *ANL Excellence*. ATSB report 181.

Audet, J. and Victor, A. (1999) *Pilotage Certificate Training for Laurentian Region (District 2 Quebec City to Les Escoumins) Volume 1: Development of Program*. TP 13458E.

Audet, J. et Victor, A. (1999) Programme de formation pour l'obtention du certificat de pilotage dans la région des Laurentides, Vol.1 – Élaboration du programme.

Audet, J. et Victor, A. (1999) Programme de formation pour l'obtention du certificat de pilotage dans la région des Laurentides, Vol.2– Guide pédagogique et guide d'évaluation.

Audet, J. et Victor, A. (1999) Programme de formation pour l'obtention du certificat de pilotage dans la région des Laurentides, Vol.3– Guide d'évaluation (protégé).

Berger, Y (1984) *Port Phillip Sea Pilots: an Occupation at Risk*. PhD Thesis; Latrobe University - Australia.

Bernier (1962-70) Rapport de la Commission royale d'enquête sur le pilotage. Étude sur le pilotage au Canada.

Boivert, P. (2002) Évaluation de risques en relation avec la taille, la jauge et le type de navires canadiens assujettis au pilotage obligatoire sur le fleuve Saint-Laurent – Module 1.

Bourgeois, L.P., Cimon, P. et Larouche, L. (1998) Rapport final du comité d'étude sur le fardeau occupationnel des pilotes du Bas-Saint-Laurent.

Brander-Smith, D., Therrien, D and Tobin, S. (1990) Rapport Brander-Smith - Examen public des systèmes de sécurité des navires-citernes.

Bureau de la sécurité des transports (1995) Étude de sécurité portant sur les rapports de travail entre les capitaines et officiers de quart et les pilotes de navires.

Corporation des pilotes du Bas-Saint-Laurent (2003) Étude de risque nécessitant le double pilotage dans la circonscription no.2 de la région de l'Administration de pilotage des Laurentides.

Corporation des pilotes du Saint-Laurent central (2003) Application de la MGRP à la pratique du double pilotage dans la circonscription no.1. de la région des Laurentides.

CPSLC (2002) Analyse de risques en matière de pilotage pour la circonscription no. 1 de la région des Laurentides.

Dancosse, G. (1993) Rapport Dancosse – Étude du double pilotage pour les navires citernes et passagers et la préiode de navigation d'hiver.

Dawson, D. and Reid, K. (1997) Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, 388: 235.

Dawson, D., Roach, G., Reid, K., and Baker, A. (1997) Australian railways: shiftwork and workload analysis – final report. University of South Australia – Centre for Sleep Research.

Dawson, D. Fletcher, A. and Hussey, F. (1999) Fatigue and transport: Report to the Neville Committee. University of South Australia – Centre for Sleep Research.

DDH Environnement Ltée (2003) Analyse statistique des accidents et des incidents impliquant des navires commerciaux canadiens et étrangers survenus sur le Saint-Laurent et la rivière Saguenay.

Division du développement des voies navigables, Service à la navigation maritime de la Garde côtière canadienne (1999) Lignes directrices sur les manœuvre dans les voies navigables canadiennes; Paramètres de conception d'un chenal.

Falleti, M., Maruff, P., Collie, A., Darby, D., and Mc Stephen, M. (2003) Qualitative similarities in cognitive impairment associated with 24 h of sustained wakefulness and a blood alcohol concentration of 0.05%. *Journal of Sleep Research*, 12 (4): 265-274.

Gauthier, J. (1996) Rapport d'examen concernant les exemptions de pilotage et la certification dans la région des Laurentides.

GeoInfo Solution Ltd et Institute for risk research of Waterloo, Ontario, (1999) Méthode de conception fondée sur le risque pour les aides à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent.

Grier, R., Warm, J., Dember, W., Matthews, G., and Galinsky, T. (2003) The vigilance decrement reflects limitations in effortful attention, not mindlessness. *Human Factors* 45 (3): 349-359.

Harrison, Y. and Horne, J. (2000) The impact of sleep deprivation on decision making: a review. *Journal of Experimental Psychology – Applied*, 6 (3): 236-249.

Hockey, G., Healey, A., Crawshaw, M., Wastell, D., and Sauer, J. (2003) Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control. *Human Factors* 45 (2): 252-265.

Innovation maritime (2002) Étude sur les limites de l'utilisation des cartes électroniques pour le pilotage en eaux restreintes.

Jacques, Y., Pelletier, S. et Ringuette, G. (2001) Rapport sur les essais de systèmes portatifs DGPS sur le Saint-Laurent.

Kriebel, D.L., Mayer, R.H. and Water, J.K. (1999) Impacts of navigation trends on channel usage and deseing.

LaHaye, G. (1992) Étude sur les facteurs et situation de risques en matière de pilotage – Zones de pilotage obligatoires.

Lamond, N. and Dawson, D. (1999) Quantifying the performance impairment associated with fatigue. *Journal of Sleep Research*, 8: pp. 255-262.

Luna, T.D., French, J., and Mitcha, J.L. (1997). A study of USAF air traffic controller shiftwork: Sleep, fatigue, activity, and mood analyses. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 68(1)*, 18-23.

Marine Safety Commitee, International Maritime Organisation (2001) Guidance on fatigue mitigation and management.

Ministère des transports (1999) Examen ministériel des questions demeurées en suspens – Rapport au Parlement.

Moray, N. (1986) Monitoring behaviour and supervisory control. In Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J. (eds.) *Human Perception and Human Performance: Volume II*. New York; Wiley.

Parker, A. Briggs, L., Hubinger, L., Folkard, S., and Green, L. (1998) *A Survey of the Work and Sleep Patterns of Great Barrier Reef Pilots*. Canberra; Australian Maritime Safety Authority.

Parasuraman, R. (1986) Vigilance, monitoring, and search. In Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J. (eds.) *Human Perception and Human Performance: Volume II*. New York; Wiley.

Rhodes & Associates (2003) Fatigue Management Training for Canadian Marine Pilotes. TP 14127.

Rhodes, W. and Gil, V. (2002) *Development of a Fatigue Management Program for Canadian Marine Pilots*. TDC report TP 13958E. Montreal; Transportation Development Centre.

Rhodes, W., Heslegrave, R., Ujimoto, K.V., Hahn, K., Zanon, S., Marino, A., Côté, Szlapetis, I., Pearl, S. (1996) *Impact of Shiftwork on Air Traffic Controllers, Phase II: Analysis of Shift Schedule Effects on Sleep, Performance, Physiology and Social Activities*. TP 12816E Transportation Development Centre Report.

Ricard, M. et Thériault, F. (2002) Évaluation des risques en relation avec la taille, la jauge et le type de navires canadiens assujettis au pilotage obligatoire sur le fleuve Saint-Laurent – Module 2.

Rosekind, M.R., et al. Fatigue in operational settings: Examples from the aviation environment. *Human Factors* 36 (1994): 327-338.

Shipley, P. (1978) *A Human Factors Study of Marine Pilotage*. Birbeck College.

Société linnéenne du Québec, Les Amis de la vallée du Saint-Laurent (2003) Le pilotage maritime sur le Saint-Laurent et l'analyse des risques.

Temple, J., Warm, J., Dember, W., Jones, K., Le Grange, C, and Matthews, G. (2000) The effects of signal salience and caffeine on performance, workload, and stress in an abbreviated vigilance task. Human Factors 42 (2): 183-194.

Transports Canada (1995) Document de travail sur le pilotage maritime au Canada.

Transports Canada (1995) Politique maritime nationale.

Transports Canada (1996) Loi maritime du Canada.

TSBC (1993a) *Striking by the bulk carrier "NIRJA" of the tanker "HAMILTON ENERGY".* Safety report number M93C000

TSBC (1993b) *Bottom contact of the bulk carrier "CANADIAN EXPLORER"* Safety report number M93C0001.

TSBC (1995) *A safety study of the operational relationship between ship masters/watchkeeping officers and marine pilots.* TSBC report number SM9501.

TSBC (1996) *Near-collision between the cruise ship "STATENDAM" and the tug-barge unit "BELLEISE SOUND"/"RADIUM 622", Discovery Passage, British Columbia.* Safety report number M96W0187.

TSBC (1997a) *Grounding of the bulk carrier "RAVEN ARROW".* Safety report number M97W0197.

TSBC (1997b) *Groundings of the bulk carrier "VENUS" Bécancour Harbour, St. Lawrence River, Québec.* Safety report number M97L0030.

TSBC 1997c) *Striking – oil tanker "IRVING ARCTIC" Traverse Cap-Santé, St. Lawrence River, Québec.* Safety report number M97L0019.

TSBC (1998) *Contact with bottom by bulk carrier "PACIFIC DOLPHIN" and tug "SEASPAN FALCON", Port Moody, British Columbia.* Safety report number M98W0019.

TSBC (1999a) *Grounding of the PATERSON.* Safety report M99C0003.

TSBC (1999b) *Grounding of the NORWEGIAN SKY.* Safety report M99L0098.

TSBC (2002) *A safety study of the operational relationship between ship masters/ watchkeeping officers and marine pilots.* Report SM9501, Hull; Transportation Safety Board of Canada.

Westheimer, G. (1986) The eye as an optical instrument. In Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J. (eds.) *Human Perception and Human Performance: Volume II.* New York; Wiley.

Wickens, C. (1999) *Engineering Psychology.* Englewood Cliffs; Prentice Hall.

Williamson, A., Feyer, A., Mattick, R., Friswell, R., Finlay, S. (2001) Developing measures of fatigue using an alcohol comparison to validate the effects of fatigue on performance. ATSB, Report 189. Canberra; ATSB.

(2001) Rapport d'évaluation du navire porte-conteneurs Cast Progress.

ANNEXE 2

Analyse méthodologique des facteurs humains (en anglais seulement)

Human Error Analysis Methodology

1 INTRODUCTION

The risk assessment of double pilotage benefits from having the addition of a thorough human error analysis to support the PRMM. The human error analysis identified details of the scenarios that helped the team uncover the potential errors and their causes. Knowledge of the potential errors and causes allowed the team to consider the human elements of the risk assessment in a systematic manner. The approach added a level of investigation that was necessary to effectively understand how pilots are placed in a position to err, and determine what conditions are most likely to cause these errors. The selection of viable mitigations was made by associating them with the errors causing the greatest risk to the system. The error risk was based on their inherent frequency and the influence of error producing conditions (EPCs), ship performance characteristics, and environmental conditions. Only those mitigations that would be helpful in reducing the riskiest error modes were included. Using the information on EPCs the assessment team was able to identify a list of potential mitigations. These mitigations were discussed with the stakeholders to determine their feasibility and importance for consideration in the list of recommended mitigations. The human factors information was provided to help the stakeholders understand what the important human factors issues are, and ultimately clarify where time and money should be spent.

1.1 Scope and Limitations of the Analysis

1.1.1 Scope

The error analysis is limited to critical errors reported in TSBC safety reports and through the assessment of the types of tasks performed by pilots. Critical errors are those that could potentially lead to a catastrophic or disastrous outcome. The analysis determined the:

- Essential pilot tasks and associated error modes;
- Development of scenarios and sub-scenarios;
- Frequency of the error modes per 1,000 hours of navigation;
- Frequency of outcomes per 1,000 hours of navigation;
- Comparison of error frequency and risk between single pilot and two pilot operations.

1.1.2 Validity of Data

The probability of unreliability for the task data is derived from those reported by Williams (1988) who compiled the reliability data from several existing human error databases. These probabilities were verified by Kirwan et al. (1996) using a comparison to values calculated with the Technique for Human Error Rate Prediction (THERP as described in Swain and Guttmann, 1983). Field validation has been accomplished through previous applications of the HEART method (Williams, 1988) to chemical processing operations (Williams and Willey, 1988), nuclear fuel fabrication (Williams, 1988), aviation maintenance tasks (Rhodes et al., 2004), and railway occupancy control systems (Laliberte and Rhodes, 2004). Rhodes et al. (2004) found that

the resulting outcome frequencies from the human error analysis were very close to those reported in the statistical records of the Transportation Safety Board of Canada (TSBC, 2000).

The Error Producing Conditions (EPCs) were derived by Williams (1988) through reviews of research and experience concerning the impact of each EPC on task performance. The estimates for the percent effect of the EPCs on the error frequencies were based on the analyst's expert opinion and information on the impact of fatigue on human performance. According to Kirwan (1997), EPC impact estimation is reasonable if determined by an expert in human error. One of the principal analysts on this project is an expert in human error and reliability (Rhodes) and was responsible for the calculation of the percent effect of the EPC values in conjunction with support from scientific research on human performance (see section 2 of Appendix 1 on the human factors issues discussed in support of the literature review).

1.1.3 Sources of Error Data

The data for the human error probabilities of unreliability were derived from Williams (1988). Williams obtained this data from several databases developed from the data bank created by the American Institutes for Research Data Store (Joos et. al., 1979), the Bunker-Ramo Tables (Irwin et. al., 1964), Pontecorvo (1965), and Bello and Colombari (1980).

1.2 General Approach

The human error analysis involved the following steps:

- Piloting tasks and subtasks were identified according to observations and formal training materials (Audet and Victor, 1999).
- Error modes were identified according to potential errors for each subtask and those identified in the literature (see Table 2-1).
- Each error mode was assigned a level of unreliability based on the types of task using the HEART method developed by Williams (1988). See Table 2-2.
- Scenarios that could potentially result in catastrophic or disastrous consequences were developed according to reports in the literature and discussions with subject matter experts (see Appendix 5).
- Event tree spreadsheets were developed to estimate the overall risk posed by each scenario.
- Event trees were created to provide a visual representation of the spreadsheet data (see Appendix 8).
- The countermeasures were identified (see Table 7 in body of report for the list of scenarios).

Table 2-1 Human Error Listing Including Task/Error/EPC/Error Probability

Tas... subtasks, and task elements	Generic task type	Generic Task Error Freq	Potential Error Modes	ERROR PRODUCING CONDITIONS (EPCs) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				Never attempt	Time pressure	Low signal to noise ratio	Too many to cross-rule information or features	Data not displayed effectively	Operator model different than what designer expected	Needed action cannot be reversed	Channel capacity overload	Opposing philosophy	Need to transfer knowledge	Inadequate in performance standards	Mismatch between perceived and real risk	Poor ergonomic system feedback	No clear confirmation of action from system	New emphases	Incorrect/not information at person-person comm	Little or no independent checking of output	Severe fatigue
			EPC Multiplier =	17	11	10	9	8	8	8	6	6	5.5	5	4	4	4	3	3	3	3
Planning the passage				Proportional Contribution																	
Prepare course plan	P	0.0001	1. Pilot fails to obtain adequate information for plan development	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
	P	0.0002	2. Pilot prepares an inadequate plan	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
Inform the master of the specific conditions in the area	P	0.0003	3. Pilot provides incorrect or misleading information to crew	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
	P	0.0003	4. Pilot fails to provide the necessary information to crew	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
Establish trust and confidence between the pilot and bridge watch	P	0.0003	5. Pilot fails to establish trust of crew and master	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
Evaluate ship's performance and behaviour	P	0.0000	6. Pilot establishes an incorrect understanding of the ship's performance and behaviour	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10	0.20
	P	0.0000	7. Pilot fails to evaluate ship's performance and behaviour	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20
Check instrument precision	P	0.0000	8. Pilot misreads instrument and uses wrong correction factor	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
	P	0.0000	9. Pilot fails to check instrument	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Obtain information from Vessel Traffic Services (VTS)	TC	0.0010	10. Pilot fails to obtain info or information from VTS	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
	TC	0.0010	11. Pilot misunderstands information from VTS	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
Determine the course to steer to compensate for current	TC	0.0010	12. Pilot misreads information on currents and tide points	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
	TC	0.0010	13. Pilot miscalculates ship's speed over ground	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
	TC	0.0010	14. Pilot miscalculates ship's drift rate or direction	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20
Determine time of passage in areas of greatest risk	TC	0.0010	15. Pilot misjudges the time of passage for a critical point in the transit	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	TC	0.0010	16. Pilot misjudges effect of wind	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20

Table 2-1 continued

Task name, subtasks, and task elements	Generic task type	Generic Task Error Freq	Potential Error Modes	ERROR PRODUCING CONDITIONS (EPCs)																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				Mental situation	Time pressure	Low signal to noise ratio	Too easy to lose mis information or feedback	Data not displayed effectively	Operator model different from what designer expected	Standard action cannot be reversed	Channel capacity overload	Opposing philosophy	Need to transfer knowledge	Ambiguity in performance standards	Mismatch between perceived and real risk	Poor ambiguous system feedback	No dear transformation of action from system	New employee	Impoverished information or person-person comm.	Little or no independent checking of output	Severe fatigue
			EPC Multiplier =	17	11	10	8	6	6	6	6	4	3.5	3	4	4	4	3	3	3	3
Navigation																					
Check ship s position on a continuing basis	G	0.0004	1. Pilot fails to check ship's position at a critical point in the transit	0.68	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
	G	0.0004	2. Pilot establishes an incorrect understanding of the ship's position	0.68	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
Analyse information provided by the ships and Vessel Traffic Services	TC	0.0010	3. Pilot neglects to use VTS information	0.50	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
Report to Vessel Traffic Services	TC	0.0010	4. Pilot neglects to report to VTS	0.50	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
	TC	0.0010	5. Pilot provides incorrect information to VTS	0.50	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
Give helm, steering, and engine orders	G	0.0004	6. Pilot gives wrong command	0.68	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
	G	0.0004	7. Pilot fails to notice an incorrect critical action by the helmsman	0.68	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
	G	0.0004	8. Pilot fails to provide command at critical point in transit	0.68	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
Handle the ship in accordance with weather conditions	G	0.0004	9. Pilot does not adequately consider weather conditions	0.68	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
Change pilots, where applicable	VC	0.0050	10. Pilot does not request a pilot change at appropriate location or when necessary	0.50	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.20	0.20	0.20
Performing specific manoeuvres in the marine district																					
Perform departure and docking manoeuvres	C	0.1000	1. Pilot misjudges speed or direction on approach to dock	0.99	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.10	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.10	0.50	0.20
	VD*	0.1000	2. Pilot fails to follow proper procedure on leaving dock	0.99	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.20
Perform anchoring manoeuvres	VD*	0.1000	3. Pilot fails to follow proper procedure when anchoring ship	0.99	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.20
Follow instructions of the master of the icebreaker (during escort)	VS*	0.1000	4. Pilot fails to execute icebreaker master's instructions correctly	0.99	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.20
	VD*	0.1000	5. Pilot neglects to follow icebreaker master's instructions	0.99	0.33	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.20

Table 2-1 continued

Task name, subtasks, and task elements	Generic task type	Generic Task Error Freq	Potential Error Modes	ERROR PRODUCING CONDITIONS (EPCs) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				Novel situation	Time pressure	Low signal to noise ratio	Too easy to over-rely information or features	Data not displayed effectively	Operator model different than what designer expected	Needed action cannot be reversed	Channel capacity overload	Opposing philosophy	Need to transfer knowledge	Ambiguity in performance standards	Mismatch between perceived and real risk	Poor ambiguous system feedback	No clear confirmation of action from system	New employee	Inexperienced information or person-person comm	Little or no independent checking of output	Severe fatigue
			EPC Multiplier >	17	11	10	9	8	8	8	8	8	5.5	5	4	4	4	3	3	3	3
Performing specific manoeuvres in emergency situations																					0.20
Manoeuvres to avoid catastrophes in emergency situations	VD*	0.1600	1. Pilot fails to follow proper procedure for emergency situations	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	E	0.1400	2. Pilot fails to evaluate situation in appropriate time	0.60	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.20
	C	0.1600	3. Pilot fails to take action in appropriate time	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	E	0.1400	4. Pilot neglects to inform master of emergency situation	0.60	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	E	0.1400	5. Pilot fails to inform master in appropriate time	0.60	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	VD*	0.1600	6. Pilot fails to follow procedures for anchoring ship in emergency situation	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	VD*	0.1600	7. Pilot fails to follow procedures for grounding ship in emergency situation	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
Inform VTS of emergency situation	E	0.0280	8. Pilot fails to inform VTS of emergency condition	0.56	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
Evaluate possible environmental damage	VD*	0.1600	9. Pilot fails to follow proper procedure for evaluating possible environmental damage	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	VD*	0.1600	10. Pilot neglects to evaluate possible environmental damage	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20
Evaluate need for towing assistance	VD*	0.1600	11. Pilot fails to follow proper procedure for evaluating need for towing service	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20
Update knowledge about emergency plans	VD*	0.1600	12. Pilot fails to update knowledge about emergency plans	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20
Ship's Crew Errors																					
Monitoring Pilot	I	0.0140	1. OOW does not notice pilot's error	0.42	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.20
Steering Ship	E	0.0280	Helmsman turns wheel the incorrect direction	0.56	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.20
	E	0.0280	2. Helmsman turns wheel an incorrect amount	0.56	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.20
Master discusses plan with pilot	I	0.0350	1. Master does not engage in effective communications with the pilot	0.70	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.20

* VD = Violation Behaviour D (Table 3 of HEART tables)

Table 2-2 HEART Calculations

HEART Data Table

Task	Task Type/ Prob.	Error Modes/Task Components	EPC No. **	EPC Effect Xs ***	Weighting of EPCs for Single Pilot	EPCs Effect with Single Pilot (with external aggravating effects)	EPCs Effect with Two Pilots	EPCs Effect with other Mitigation Mesures	Probability with Single Pilot	Probability with Two Pilots	Probability with other Mitigation measures	Percent Increase in Risk due to Removal of Second Pilot
Planning the Passage	F	1. Pilot fails to obtain adequate information for plan development	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			8	6	0.25	1.96875	1	1.58125				
	0.0030		10	5.5	0.25	1.995625	1.7467188	1.9960625				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	38.43727312	4.1381274	22.45847815	0.115311819	0.012414382	0.067375434	853.02
		2. Pilot prepares an inadequate plan	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.30	1.48	1.12	1.36				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	11.25447279	2.4568302	8.215695977	0.033763418	0.007370491	0.024647088	358.08
		3. Pilot provides incorrect or misleading information to crew	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			8	6	0.25	1.96875	1	1.58125				
			10	5.5	0.50	2.98125	2.4834375	2.792125				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.30	1.48	1.12	1.36				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	66.27785401	3.5483969	9.983455519	0.198833562	0.010645191	0.029950367	1767.83
		4. Pilot fails to provide the necessary information to crew	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			8	6	0.25	1.96875	1	1.58125				
			10	5.5	0.50	2.98125	2.4834375	2.792125				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.30	1.48	1.12	1.36				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	66.27785401	6.1258525	36.27268827	0.198833562	0.018377857	0.108818066	981.92
		5. Pilot fails to establish trust of crew and master	1	17	0.01	1.16	1.04	1.16				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			12	4	0.00	1	1	1				
			16	3	0.10	1.17	1.085	1.17				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	6.639639552	2.0342344	5.462940637	0.019918919	0.006102703	0.016388822	226.40
		6. Pilot establishes an incorrect understanding of the ship's performance and behaviour	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	5.6749056	1.8748704	4.508173824	0.017024717	0.005624611	0.013524521	202.68
		7. Pilot fails to evaluate ship's performance and behaviour	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
			19	3	0.15	1	1	1				
					Overall Effect	10.03777303	2.3690862	7.490781626	0.030113319	0.007107259	0.022472345	323.70
		8. Pilot misreads instrument and uses wrong correction factor	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			5	8	0.20	2.4	1.7	2.05				
			8	6	0.10	1.3875	1	1.2325				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	24.94461506	3.4422621	14.12417621	0.074833845	0.010326786	0.042372529	624.66
		9. Pilot fails to check instrument	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	5.6749056	1.8748704	4.508173824	0.017024717	0.005624611	0.013524521	202.68
	TC	10. Pilot fails to obtain critical information from VTS	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
	0.0010		16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	56.96341435	4.4417297	33.76874585	0.056963414	0.00444173	0.033768746	1182.46
		11. Pilot misunderstands information from VTS	1	17	0.01	1.16	1.04	1.12				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			3	10	0.20	2.575	1.7875	1.7875				
			8	6	0.20	1.775	1	1.465				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	45.87889833	4.2347416	19.61601621	0.045878898	0.004234742	0.019616016	983.38
		12. Pilot misreads information on currents and tidal points	2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	8.653252608	2.2779675	6.68819788	0.008653253	0.002277968	0.006688198	279.87
		13. Pilot miscalculates ship's speed over ground	2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			10	5.5	0.20	1.7965	1.587375	1.71685				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	15.54556831	3.6387684	11.48263253	0.046636705	0.003638768	0.011482633	1181.66
		14. Pilot miscalculates ship's drift rate or direction	2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			10	5.5	0.20	1.7965	1.587375	1.71685				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	15.54556831	3.6387684	11.48263253	0.015545568	0.003638768	0.011482633	327.22
		15. Pilot misjudges the time of passage for a critical point in the transit	2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			10	5.5	0.20	1.7965	1.587375	1.71685				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	8.78876544	2.8796838	6.910587705	0.008788765	0.002879684	0.006910588	205.20
		16. Pilot misjudges effect of squat	2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			10	5.5	0.20	1.7965	1.587375	1.71685				
			18	3	0.20	1.344	1.086	1.2408				
					Overall Effect	8.78876544	2.8796838	6.910587705	0.008788765	0.002879684	0.006910588	205.20

Table 2-2 continued

Task	Task Type* Prob.	Error Modes/Task Components	EPC No. **	EPC Effect Xs **	Weighting of EPCs for Single Pilot	EPCs Effect with Single Pilot (with external spreading effects)	EPCs Effect with Two Pilots	EPCs Effect with other Mitigation Measures	Probability with Single Pilot	Probability with Two Pilots	Probability with other Mitigation measures	Percent Increase in Risk due to Removal of Second Pilot
Navigation	G 0.0004	1. Pilot fails to check ship's position at a critical point in the transit.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			3	10	0.25	2.96875	1.984375	1.984375				
			5	8	0.25	2.75	1.875	2.3125				
			8	6	0.25	1.96875	1	1.58125				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	361.6176519	11.865897	106.7671922	0.144647081	0.004746359	0.042706877	2847.54
		2. Pilot establishes an incorrect understanding of the ship's position.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			3	10	0.25	2.96875	1.984375	1.984375				
			5	8	0.25	2.75	1.875	2.3125				
			8	6	0.25	1.96875	1	1.58125				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
			19	3	0.15	1	1	1				
					Overall Effect	361.6176519	11.865897	106.7671922	0.144647081	0.004746359	0.042706877	2847.54
	TC 0.0010	3. Pilot neglects to use VTS information.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	22.49845678	3.1891546	14.71403534	0.022498457	0.003189155	0.014714035	605.47
		4. Pilot neglects to report to VTS.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	6.18089472	1.9211774	4.535769216	0.006180895	0.001921177	0.004535769	221.72
		5. Pilot provides incorrect information to VTS.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			8	6	0.20	1.775	1	1.465				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	4.612608	1.642032	3.3849024	0.004612608	0.001642032	0.003384902	180.91
	G 0.0004	6. Pilot gives wrong command.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
			19	3	0.15	1	1	1				
					Overall Effect	22.49845678	3.1891546	14.71403534	0.008999383	0.001275662	0.005885614	605.47
		7. Pilot fails to notice an incorrect critical action by the helmsman.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			8	6	0.20	1.775	1	1.465				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
			19	3	0.15	1	1	1				
					Overall Effect	39.93476079	3.1891546	21.55906177	0.015973904	0.001275662	0.008622425	1152.21
		8. Pilot fails to provide command at critical point in transit.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			8	6	0.20	1.775	1	1.465				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	29.80206029	2.7257731	16.08661326	0.011920824	0.001090309	0.006434645	883.34
		9. Pilot does not adequately consider weather conditions.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			3	10	0.20	2.575	1.7875	1.7875				
			5	8	0.10	1.7	1.35	1.525				
			8	6	0.20	1.775	1	1.465				
			16	3	0.20	1.34	1.17	1.34				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	174.8144153	7.6958286	58.76047713	0.069925766	0.003078331	0.023504191	2171.55
	VC 0.3600	10. Pilot does not request a pilot change at appropriate location or when necessary.	1	17	0.10	2.6	1.4	2.2				
			2	11	0.30	3.64	1.66	3.244				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
					Overall Effect	12.719616	2.523864	8.65534144	4.83	0.96	3.37	403.97
Performing specific manoeuvres in the marine district	C 0.1600	1. Pilot misjudges speed or direction on approach to dock	1	17	0.05	1.8	1.2	1.6				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			3	10	0.05	1.39375	1.196875	1.196875				
			8	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			10	5.5	0.05	1.199125	1.1493438	1.1792125				
			16	3	0.10	1.17	1.082	1.17				
			17	3	0.10	1.16	1.04	1.12				
			18	3	0.20	1.344	1.096	1.2408				
			19	3	0.15	1	1	1				
					Overall Effect	9.432804526	2.2454111	5.631378603	1.50824874	0.359265773	0.901020576	320.09
	VD* 0.1600	2. Pilot fails to follow proper procedure on leaving dock.	1	17	0.05	1.8	1.2	1.6				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.548096	1.589904	3.47026944	0.81865728	0.28618272	0.624648499	186.06
		3. Pilot fails to follow proper procedure while anchoring ship	1	17	0.05	1.8	1.2	1.6				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.548096	1.589904	3.47026944	0.81865728	0.28618272	0.624648499	186.06
		4. Pilot fails to execute icebreaker master's instructions correctly	1	17	0.05	1.8	1.2	1.6				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.548096	1.589904	3.47026944	0.81865728	0.28618272	0.624648499	186.06
		5. Pilot neglects to follow icebreaker master's instructions	1	11	0.05	1.5	1.125	1.375				
			2	3	0.10	1.176	1.044	1.1498				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	2.370816	1.275507	1.96133256	0.42674688	0.22959126	0.353039861	85.87

Table 2-2 continued

Task	Task Type* Prob.	Error Modes/Task Components	EPC No. **	EPC Effect Xs **	Weighting of EPCs for Single Pilot	EPCs Effect with Single Pilot (with external aggravating effects)	EPCs Effect with Two Pilots	EPCs Effect with other Mitigation Measures	Probability with Single Pilot	Probability with Two Pilots	Probability with other Mitigation measures	Percent Increase in Risk due to Removal of Second Pilot
Emergency situations	VD 0.1800	1. Pilot fails to follow proper procedure for emergency situations	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.548096	1.580804	3.47026944	0.81865726	0.28618272	0.624648499	186.06
	C 0.1500	2. Pilot fails to evaluate situation in appropriate time	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			5	8	0.05	1.35	1.175	1.2625				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			16	3	0.05	1.085	1.0425	1.085				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	6.091316381	1.7719358	4.170912573	0.97	0.283509726	0.667346028	243.77
		3. Pilot fails to take action in appropriate time	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.1586048	1.448552	3.044878531	0.665376768	0.23144832	0.487180565	187.48
		4. Pilot neglects to inform master of emergency situation	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.1586048	1.448552	3.044878531	0.665376768	0.23144832	0.487180565	187.48
		5. Pilot fails to inform master in appropriate time	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.1586048	1.448552	3.044878531	0.665376768	0.23144832	0.487180565	187.48
	VD* 0.1800	6. Pilot fails to follow procedures for anchoring ship in emergency situation	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.548096	1.580804	3.47026944	0.81865726	0.28618272	0.624648499	186.06
		7. Pilot fails to follow procedures for grounding ship in emergency situation	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	4.548096	1.580804	3.47026944	0.81865726	0.28618272	0.624648499	186.06
	E 0.0200	8. Pilot fails to inform VTS of emergency condition	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			8	6	0.10	1.3875	1	1.2325				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	6.3104832	1.588804	4.277107085	0.126209664	0.03179808	0.085542142	296.91
	VD* 0.1800	9. Pilot fails to follow proper procedure for evaluating possible environmental damage	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.10	1.88	1.22	1.748				
			8	6	0.10	1.3875	1	1.2325				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	6.3104832	1.588804	4.277107085	1.135846076	0.28618272	0.769679275	296.91
		10. Pilot neglects to evaluate possible environmental damage	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			10	5.5	0.05	1.189125	1.1483438	1.1782125				
			16	3	0.05	1.085	1.0425	1.085				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	5.410855374	1.7332454	3.695756325	0.973898567	0.311984169	0.701236139	212.16
		11. Pilot fails to follow proper procedure for evaluating need for towing service	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			10	5.5	0.05	1.189125	1.1483438	1.1782125				
			16	3	0.05	1.085	1.0425	1.085				
			17	3	0.20	1.32	1.08	1.24				
					Overall Effect	5.313838314	1.7236884	3.693244504	0.956508897	0.3102005	0.70078402	208.29
		12. Pilot fails to update knowledge about emergency risers	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.05	1.44	1.11	1.374				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			10	5.5	0.05	1.189125	1.1483438	1.1782125				
			16	3	0.05	1.085	1.0425	1.085				
			17	3	0.05	1.08	1.02	1.08				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	5.843398804	1.7079103	4.129501705	1.051811985	0.310223853	0.743310307	230.53
Helmsman steers ship	G 0.0004	1. Helmsman turns wheel the incorrect direction	2	11	0.20	2.76	1.44	2.496				
			16	3	0.10	1.17	1.085	1.17				
			17	3	0.10	1.16	1.04	1.12				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	5.034451968	1.7646371	4.058357023	0.002	0.001	0.002	185.30
		2. Helmsman turns wheel an incorrect amount	2	11	0.20	2.76	1.44	2.496				
			16	3	0.10	1.17	1.085	1.17				
			17	3	0.10	1.16	1.04	1.12				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	5.034451968	1.7646371	4.058357023	0.00	0.00	0.00	185.30
Crewmember monitors pilot	G 5.0004	1. OOW fails to notice pilot's error	1	17	0.05	1.8	1.2	1.8				
			2	11	0.20	2.76	1.44	2.496				
			6	6	0.05	1.19375	1	1.11625				
			10	5.5	0.00	1	1	1				
			16	3	0.05	1.085	1.0425	1.085				
			17	3	0.05	1.08	1.02	1.08				
			18	3	0.20	1.344	1.088	1.2408				
					Overall Effect	9.340019451	1.9854811	5.381557014	0.003738007	0.000798198	0.002544623	368.05

* Classification of tasks based on those used by Williams (1988) for determining error rates for the HEART error analysis methodology – see HEART Table 2 for descriptions of the tasks. Frequencies for violations (e.g. √Ds) are derived from HEART Table 3 (VD=violation item D).

** Error Producing Conditions (EPCs) as shown in HEART Table 1.

† This multiplier is based on expert opinion and involves the estimated effect fatigue has on the EPC it is applied to – note that multiplier 1.5 is the base rate suggested by Williams (1988) for fatigue.

2 METHODS

2.1 Task Identification

The following tasks were identified by starting with the tasks described by Audet and Victor (1999), and modifying this list according to observations of actual piloting:

- Planning the passage;
- Navigating;
- Performing specific manoeuvres;
- Responding to emergencies.

Within each of these tasks, several subtasks were also identified. The tasks and subtasks are shown in Table 2-1. Each task is described according to each of the following:

- Task names, subtasks, and task elements;
- Generic tasks type according to Table 2-4;
- Error frequency for generic task according to Table 2-4;
- Potential error modes;
- Error producing conditions (EPCs) that affect the task;
- Multipliers and percent effect for the EPCs.

2.2 Identification of Major Error Modes and Levels of Unreliability

Several error modes that did and could potentially result in a catastrophic or disastrous incident were identified by reviewing TSBC safety reports and assessing what potential errors could occur for each piloting subtask and according to errors identified in the literature. These error modes are rated for their level of unreliability using the HEART method. Table 2-2 in lists these error modes and the level of unreliability these errors pose individually. The table includes:

- Task that is being performed when error may occur;
- Error modes that may occur during the performance of the task;
- Associated error producing conditions (EPCs) that may cause and influence the probability of the error's occurrence;
- Weighting to be used for each of the EPCs identified;
- Probability calculation for both single and two pilot operations; and
- Percent difference of unreliability posed by two pilots versus one.

2.3 Scenarios

The errors were examined in the context of scenarios developed according to information obtained through the review of incident reports and discussions with subject matter experts. These scenarios were tabulated beginning with the initiating error (event) and continuing through

the enabling events to the outcome. Each event's frequency of occurrence was derived from the HEART table if the event was an error, or from technical sources if the event was weather, river, or vessel related. The scenarios (PowerPoint presentations) are contained in Appendix 5. Table 2-3 lists the scenarios used for the analysis.

Table 2-3 List of Scenarios Used for the Assessment

Scenario	Hazardous Condition
Scenario 1	Pilot incorrectly evaluates the ship's performance, draught, and manoeuvrability.
Scenario 2	Pilot fails to verify the position of the ship or determines an erroneous position.
Scenario 3	Pilot gives an incorrect command to crew.
Scenario 4	Pilot underestimates the weather or associated navigational conditions.
Scenario 5	Pilot misjudges the speed or angle of approach when docking or does not follow appropriate procedures when approaching or departing the quay.

2.3 HEART Calculations

The HEART method was used to determine the error frequencies within the working environment of the pilots. The method is one of the most used human reliability methods in the UK and is one of the easiest methods to apply to the working environment. It focuses on mitigations (error reduction methods) and is based on ergonomic data and principles. The steps involved in calculating the probabilities of unreliability for each task are shown in Figure 2-1.

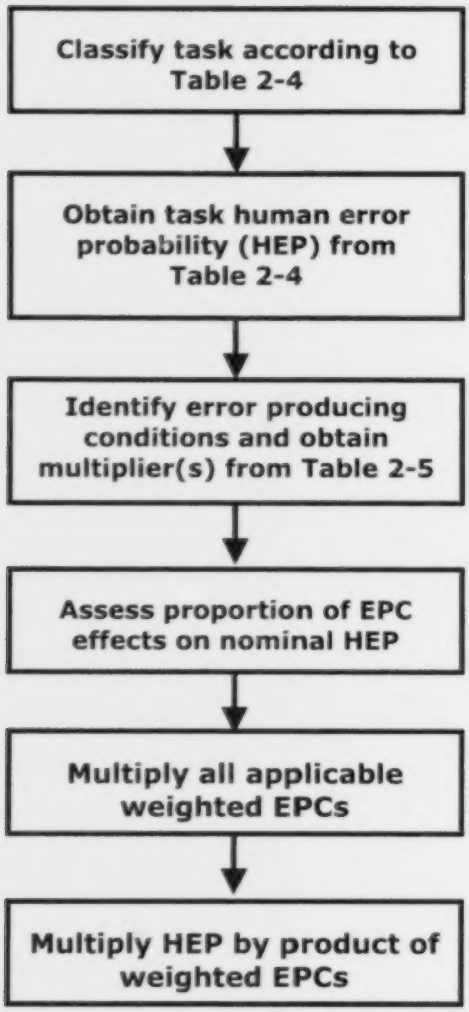


Figure 2-1 Process for Calculating Errors Probabilities

2.3.2 Detailed Calculations

The probability calculations for Table 2-3 are derived from the combined estimated impact of applicable EPCs (derived from Table 2-5) on established levels of unreliability for types of piloting subtasks (derived from Table 2-4). The calculation for the level of unreliability for each applicable EPC, as recommended by Williams (1988), is as follows:

Calculation of the Effect of EPCs

The first two equations result in the weighted multiplier for each EPC and the combined effect of the EPCs that were determined to be present when the error was made.

Equation 1 (columns H and I in Table 2-3):

$(EPC_xW) = [(EPC_xM - 1) \times (EPC_xP) + 1]$

Where:

EPC_xW is the weighted EPC_xM

EPC_xM is the EPC impact multiplier.

EPC_xP is the proportion of estimated effect of the EPC on error occurrence.

"**-1**": the EPC_xM is reduced by 1 to arrive at the degrees of freedom to be used for the calculation of the product of the EPC_xM and EPC_xP.

"**+1**": The number 1 is added back to the product of the EPC_xM and EPC_xP.

EPCP is determined by expert judgement using criteria that includes:

- The proportion of time that the EPC would apply to a particular situation; and
- The strength in which the EPC would influence the erroneous action.

The EPC multiplier is taken from Table 2-4.

The result in Equation 1 is an estimate for the contribution a particular EPC to the overall unreliability of a specific error mode.

The contributions of each EPC to the overall level of unreliability are multiplied together to arrive at the overall estimate of unreliability posed by a particular error mode, as shown by Equation 2:

Equation 2 (product of the error modes' EPCs):

$TEPC = EPC_1 \times EPC_2 \times \ldots EPC_n$

Where:

TEPC is the Total EPC Effect

The result in equation 2 gives the combined effect produced by the EPCs.

Human Error Calculation

Equation 3 determines the error frequency of a specific error mode adjusted for the effect of the applicable EPCs.

Equation 3 (column J in Table 3):

$AHEP = HEP_T \times TEPC$

Where:

AHEP is the adjusted HEP for the task

HEP_T is the HEP for the task obtained from Table 2-5

Equation 4 (column L in Table 3):

Equation 4 determines the impact of the second pilot on the frequency of the error mode's occurrence by calculating the percent increase (or decrease) of the total error frequency:

$$RR = [(AHEP)_{single} - (AHEP)_{double}] / (AHEP)_{double} \times 100$$

Where:

RR is the Risk Ratio for double pilotage in relation to the risk ratio for a single pilotage.

Table 2-4 Nominal Error Probabilities for Generic Tasks

Generic Task	Proposed Nominal Human Unreliability (5^{th} – 95^{th} Percentile Bounds)
A. Totally unfamiliar task, performed at speed with no real idea of likely consequence.	0.55 (0.35 – 0.97)
B. Shift or restore system to a new or original state on a single attempt without supervision or procedure.	0.26 (0.14 – 0.42)
C. Complex task requiring high level of comprehension and skill.	0.16 (0.12 – 0.28)
D. Fairly simple task performed rapidly or given scant attention.	0.09 (0.06 – 0.13)
E. Routine, highly practised, rapid task involving relatively low level of skill.	0.02 (0.007 – 0.045)
F. Restore or shift system to a new or original state following procedures, with some checking.	0.003 (0.0008 – 0.007)
G. Completely familiar, well designed, highly practised, routine task occurring several times per hour, performed to the highest possible standards by highly trained and experienced person, totally aware of the implications of failure, with time to correct potential error, but without the benefit of significant job aids.	0.0004 (0.00008 – 0.009)
H. Respond correctly to system command even when there is an augmented or automated supervisory system providing accurate interpretation of system state.	0.00002 (0.000006 – 0.0009)
I. GENERIC TASK – Miscellaneous task for which no description can be found.	0.03 (0.008 – 0.11)

2.3.3 Use of AHEPs in Event Tree Spreadsheet Calculations

The adjusted human error probabilities (AHEPs) were assigned to each event where a human error event occurred in the event tree spreadsheet. This included both pilot errors and ship's crew errors.

Table 2-5 Multipliers for the Error Producing Conditions (EPCs)

Error Producing Condition	Max. Predicted Nominal Effect*
1. Unfamiliarity with a situation, which is potentially important but which only occurs infrequently or which is novel.	x17
2. A shortage of time available for error detection and correction.	x11
3. A low signal to noise ratio.	x10
4. A means of suppressing or over-riding information or features that is too easily accessible.	x9
5. No means of conveying spatial and functional information to operators in a form that they can readily assimilate.	x8
6. A mismatch between an operator's model of the world and that imagined by the designer (or by field personnel).	x8
7. No obvious means of reversing an unintended action.	x8
8. A channel capacity overload, particularly one caused by simultaneous presentation of non-redundant information.	x6
9. A need to unlearn a technique and apply one that requires the application of an opposing philosophy.	x6
10. The need to transfer specific knowledge from task to task without loss.	x5.5
11. Ambiguity in the required performance standards.	x5
12. A mismatch between perceived and real risk.	x4
13. Poor, ambiguous or ill-matched system feedback.	x4
14. No clear direct or timely confirmation of intended action from system.	x4
15. Operator experience (e.g. a newly-qualified tradesman, but not an expert.	x3
16. An impoverished quality of information conveyed by procedures and person/person interaction.	x3
17. Little or no independent checking or testing of output.	x3
18. Fatigue that is severe enough to cause significant degradation in performance (more than 17 continuous hours awake after 8 hours of prior sleep – or poor sleep obtained over several days).	x3**

* Maximum predicted nominal amount by which a generic task's probability of unreliability is made worse by the EPC.

** Williams (1988) did not consider severe sleep loss, only referring to work during unfavourable periods of the human circadian rhythm. This analysis considers the estimated effect of reasonable levels of sleep loss that may be experienced by most aircraft maintenance personnel working nights.

References

1. Audet, J. and Victor, A. (1999) *Pilotage Certificate Training for Laurentian Region (District 2 Quebec City to Les Escoumins) Volume 1: Development of Program*. TP 13458E.
2. Bello, G. and Colombari, V. (1980) The human factors in risk analysis of process plants: The control room operator model "TESEO". *Reliability Engineering*, 1: pp 3-14.
3. Irwin, I., Levitz, J., and Freed, A. (1964) *Human Reliability in the Performance Of Maintenance*. Bunker-Ramo Corporation, report numbers 317-BSD-TDR-63-218 and LRP 317/TDR-63-218 – Sacromento; Aerojet-General Corporation.
4. Kirwan, B. (1996) The validation of three human reliability quantification techniques – THERP, HEART and JHEDI: Part I – Technique descriptions and validation issues. *Applied Ergonomics*, 27 (6): pp 359-373.
5. Kirwan, B. (1997) The validation of three human reliability quantification techniques – THERP, HEART and JHEDI: Part III – Practical aspects of the usage of the techniques. *Applied Ergonomics*, 28 (1): pp 27-39.
6. Kirwan, B., Scannali, S, and Robinson, L. (1996) A case study of human reliability assessment for an existing power plant. *Applied Ergonomics*, 27 (5): pp 289-302.
7. Kirwan, B., Kennedy, R., Taylor-Adams, S., and Lambert, B. (1997) The validation of three human reliability quantification techniques – THERP, HEART and JHEDI: Part II – Results of validation exercise. *Applied Ergonomics*, 28 (1): pp 17-25.
8. Pontecorvo, A. (1965) A method for human reliability. *Annals of Reliability and Maintainability*, 4: pp 337-342.
9. Swain, A. and Guttmann, H. (1983) *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. NUREG/CR-1278 – Washington D.C.; Nuclear Regulatory Commission.
10. Williams, J. (1988) A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. *Proceedings of the IEEE Conference on Human Factors and Power Plants*, Monterey, California.

ANNEXE 3

Rapport statistique

Projet sur le double pilotage

1. Taux d'accidents annuel pour les années entre 1988 et 2001

Tableau 2

Année	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
1988	14 338	63	0,44 %	10,47 %
1989	12 293	60	0,49 %	9,97 %
1990	12 850	46	0,36 %	7,64 %
1991	12 232	49	0,40 %	8,14 %
1992	12 309	53	0,43 %	8,80 %
1993	11 534	35	0,30 %	5,81 %
1994	13 112	35	0,27 %	5,81 %
1995	13 042	52	0,40 %	8,64 %
1996	11 984	34	0,28 %	5,65 %
1997	11 622	46	0,40 %	7,64 %
1998	12 245	35	0,29 %	5,81 %
1999	12 455	37	0,30 %	6,15 %
2000	11 969	28	0,23 %	4,65 %
2001	11 224	29	0,26 %	4,82 %
Total	173 209	602	0,35 %	100,00 %

2(A) et 3(A). Taux d'accidents mensuel, puis été vs hiver (hiver = 1 décembre au 31 mars)

Tableau 4 Sans 1987 et 2002

Mois	Passages (moyenne)	Passages (total)	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Janvier	434	6 076	54	0,89 %	8,97 %
Février	358	5 009	35	0,70 %	5,81 %
Mars	470	6 582	24	0,36 %	3,99 %
Avril	964	13 492	46	0,34 %	7,64 %
Mai	1 269	17 764	45	0,25 %	7,48 %
Juin	1 374	19 232	45	0,23 %	7,48 %
Juillet	1 442	20 184	45	0,22 %	7,48 %
Août	1 401	19 613	79	0,40 %	13,12 %
Septembre	1 304	18 256	57	0,31 %	9,47 %
Octobre	1 279	17 907	47	0,26 %	7,81 %
Novembre	1 177	16 477	56	0,34 %	9,30 %
Décembre	901	12 617	69	0,55 %	11,46 %
Total	1 031	173 209	602	0,35 %	100,00 %

	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Hiver	30 284	182	0,60 %	30,23 %
Été	142 925	420	0,29 %	69,77 %
Total	173209	602	0,35 %	100,00 %

2(B)-et 3(B).bis Taux d'accidents mensuel, puis été vs hiver (hiver = 1 décembre au 31 mars) selon l'origine du bateau

Mois	Autre				Canada			
	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Janvier	3 226	34	1,05 %	8,99 %	2 850	20	0,70 %	8,93 %
Février	2 804	23	0,82 %	6,08 %	2 205	12	0,54 %	5,36 %
Mars	3 475	16	0,46 %	4,23 %	3 107	8	0,26 %	3,57 %
Avril	5 908	30	0,51 %	7,94 %	7 584	16	0,21 %	7,14 %
Mai	7 106	31	0,44 %	8,20 %	10 658	14	0,13 %	6,25 %
Juin	7 036	31	0,44 %	8,20 %	12 196	14	0,11 %	6,25 %
Juillet	7 382	31	0,42 %	8,20 %	12 802	14	0,11 %	6,25 %
Août	7 395	42	0,57 %	11,11 %	12 218	37	0,30 %	16,52 %
Septembre	7 287	34	0,47 %	8,99 %	10 969	23	0,21 %	10,27 %
Octobre	7 619	29	0,38 %	7,67 %	10 288	18	0,17 %	8,04 %
Novembre	7 668	31	0,40 %	8,20 %	8 809	25	0,28 %	11,16 %
Décembre	6 075	46	0,76 %	12,17 %	6 542	23	0,35 %	10,27 %
Total	72 981	378	0,52 %	100,00 %	100 228	224	0,22 %	100,00 %

Mois	Autre				Canada			
	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Hiver	15 580	119	0,76 %	31,48 %	14 704	63	0,43 %	28,13 %
Été	57 401	259	0,45 %	68,52 %	85 524	161	0,19 %	71,88 %
Total	72 981	378	0,52 %	100,00 %	100228	224	0,22 %	100,00 %

Le taux d'accidents est plus élevé en hiver qu'en été, même si le nombre d'accidents est plus élevé en été (information déjà discutée dans le rapport principal). Le taux d'accidents des navires canadiens est moins élevé que le taux d'accidents des navires étrangers, cependant cette différence est autant présente en été qu'en hiver; il ne faut donc pas relier les problèmes des bateaux étrangers à leur présence en hiver.

4. Distribution de l'heure des évènements

Sans 1987 et 2002
Tableau 5

Accidents par heure		
Heure	Nb d'acc.	Proportion d'accidents
0	14	2,39 %
1	16	2,73 %
2	30	5,12 %
3	28	4,78 %
4	16	2,73 %
5	8	1,37 %
6	13	2,22 %
7	20	3,41 %
8	21	3,58 %
9	23	3,92 %
10	23	3,92 %
11	28	4,78 %
12	31	5,29 %
13	17	2,90 %
14	48	8,19 %
15	33	5,63 %
16	25	4,27 %
17	35	5,97 %
18	24	4,10 %
19	26	4,44 %
20	24	4,10 %
21	30	5,12 %
22	27	4,61 %
23	26	4,44 %
Total	586	100,00 %

16 Valeurs manquantes

5. Taux moyens d'accidents dans les 30 classes de longueur de bateaux

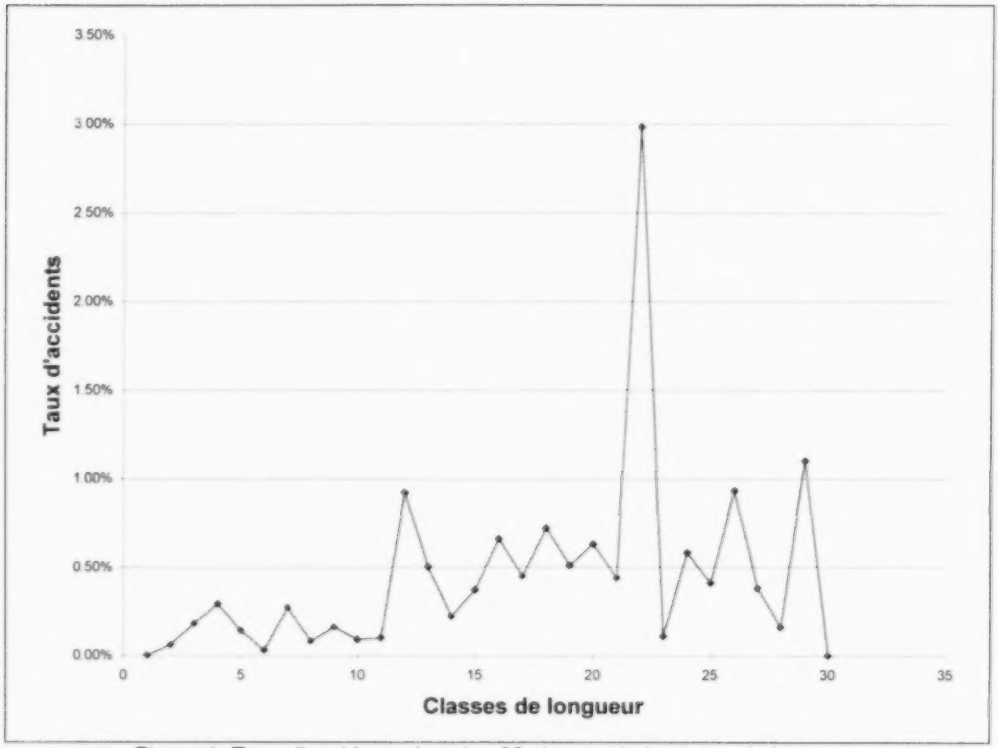


Figure 1. Taux d'accidents dans les 30 classes de longueur de bateaux;
(le taux est obtenu ici en faisant le rapport de la somme des accidents sur la somme des passages de tous les bateaux dans la classe de longueur)

SI on prend la série en entier, on remarque une tendance vers une augmentation du taux d'accidents avec une augmentation de la longueur du bateau. Cependant, en ne considérant que les classes de longueurs supérieures ou égales à 12, on remarque que le taux d'accidents apparaît stable (à l'exception de la classe 22 qui montre un taux très élevé).

Deux hypothèses possibles :

L'utilisation d'un deuxième pilote empêche le taux de continuer de monter, ou;

À partir d'une certaine longueur, le taux d'accidents est stable et l'ajout d'un deuxième pilote est inutile.

Afin de pouvoir appuyer l'une ou l'autre des hypothèses, il est nécessaire de pouvoir estimer le taux d'accidents pour les longs navires en présence de seulement 1 pilote.

6. Taux d'accidents par classe de longueur

Sans 1987 et 2002
Tableau 6

Accidents par classe de longueur				
Classe de longueur	Total	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	197	24	12,18 %	3,99 %
0-09	666	0	0,00 %	0,00 %
10-19	8 032	5	0,06 %	0,83 %
20-29	10 641	19	0,18 %	3,16 %
30-39	9 737	28	0,29 %	4,65 %
40-49	5 567	8	0,14 %	1,33 %
50-59	16 550	5	0,03 %	0,83 %
60-69	1 865	5	0,27 %	0,83 %
70-79	1 261	1	0,08 %	0,17 %
80-89	3 694	6	0,16 %	1,00 %
90-99	8 197	7	0,09 %	1,16 %
100-109	4 030	4	0,10 %	0,66 %
110-119	2 839	26	0,92 %	4,32 %
120-129	8 016	40	0,50 %	6,64 %
130-139	10 334	23	0,22 %	3,82 %
140-149	6 700	25	0,37 %	4,15 %
150-159	6 034	40	0,66 %	6,64 %
160-169	6 645	30	0,45 %	4,98 %
170-179	10 383	75	0,72 %	12,46 %
180-189	11 442	58	0,51 %	9,63 %
190-199	5 737	36	0,63 %	5,98 %
200-209	3 209	14	0,44 %	2,33 %
210-219	2 450	73	2,98 %	12,13 %
220-229	24 044	27	0,11 %	4,49 %
230-239	1 910	11	0,58 %	1,83 %
240-249	1 465	6	0,41 %	1,00 %
250-259	215	2	0,93 %	0,33 %
260-269	524	2	0,38 %	0,33 %
270-279	632	1	0,16 %	0,17 %
280-289	91	1	1,10 %	0,17 %
290- +	102	0	0,00 %	0,00 %
Total	173 209	602	0,35 %	100,00 %

7. Taux d'accidents par classe de longueur et par mois

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Janvier				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	1	0	0,00 %	0,00 %
0-09	1	0	0,00 %	0,00 %
10-19	25	0	0,00 %	0,00 %
20-29	137	1	0,73 %	1,85 %
30-39	277	7	2,53 %	12,96 %
40-49	26	2	7,69 %	3,70 %
50-59	215	0	0,00 %	0,00 %
60-69	46	0	0,00 %	0,00 %
70-79	60	0	0,00 %	0,00 %
80-89	508	0	0,00 %	0,00 %
90-99	413	0	0,00 %	0,00 %
100-109	71	0	0,00 %	0,00 %
110-119	98	3	3,06 %	5,56 %
120-129	541	5	0,92 %	9,26 %
130-139	746	1	0,13 %	1,85 %
140-149	318	4	1,26 %	7,41 %
150-159	307	5	1,63 %	9,26 %
160-169	429	6	1,40 %	11,11 %
170-179	452	5	1,11 %	9,26 %
180-189	303	2	0,66 %	3,70 %
190-199	280	3	1,07 %	5,56 %
200-209	126	2	1,59 %	3,70 %
210-219	99	4	4,04 %	7,41 %
220-229	238	1	0,42 %	1,85 %
230-239	150	2	1,33 %	3,70 %
240-249	95	1	1,05 %	1,85 %
250-259	16	0	0,00 %	0,00 %
260-269	38	0	0,00 %	0,00 %
270-279	48	0	0,00 %	0,00 %
280-289	6	0	0,00 %	0,00 %
290- +	6	0	0,00 %	0,00 %
Total	6 076	54	0,89 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Février				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	4	1	25,00 %	2,86 %
0-09	1	0	0,00 %	0,00 %
10-19	8	0	0,00 %	0,00 %
20-29	186	0	0,00 %	0,00 %
30-39	179	3	1,68 %	8,57 %
40-49	24	0	0,00 %	0,00 %
50-59	192	0	0,00 %	0,00 %
60-69	24	0	0,00 %	0,00 %
70-79	12	0	0,00 %	0,00 %
80-89	368	0	0,00 %	0,00 %
90-99	309	0	0,00 %	0,00 %
100-109	45	0	0,00 %	0,00 %
110-119	78	2	2,56 %	5,71 %
120-129	444	5	1,13 %	14,29 %
130-139	622	6	0,96 %	17,14 %
140-149	292	1	0,34 %	2,86 %
150-159	264	3	1,14 %	8,57 %
160-169	362	2	0,55 %	5,71 %
170-179	402	2	0,50 %	5,71 %
180-189	299	1	0,33 %	2,86 %
190-199	188	1	0,53 %	2,86 %
200-209	105	3	2,86 %	8,57 %
210-219	93	0	0,00 %	0,00 %
220-229	201	3	1,49 %	8,57 %
230-239	121	0	0,00 %	0,00 %
240-249	83	1	1,20 %	2,86 %
250-259	7	0	0,00 %	0,00 %
260-269	39	1	2,56 %	2,86 %
270-279	48	0	0,00 %	0,00 %
280-289	4	0	0,00 %	0,00 %
290- +	5	0	0,00 %	0,00 %
Total	5 009	35	0,70 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Mars				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	2	1	50,00 %	4,17 %
0-09	1	0	0,00 %	0,00 %
10-19	40	0	0,00 %	0,00 %
20-29	437	1	0,23 %	4,17 %
30-39	241	1	0,41 %	4,17 %
40-49	33	0	0,00 %	0,00 %
50-59	254	0	0,00 %	0,00 %
60-69	62	0	0,00 %	0,00 %
70-79	41	0	0,00 %	0,00 %
80-89	349	0	0,00 %	0,00 %
90-99	295	0	0,00 %	0,00 %
100-109	118	1	0,85 %	4,17 %
110-119	123	0	0,00 %	0,00 %
120-129	515	3	0,58 %	12,50 %
130-139	728	3	0,41 %	12,50 %
140-149	357	2	0,56 %	8,33 %
150-159	315	2	0,63 %	8,33 %
160-169	409	1	0,24 %	4,17 %
170-179	504	2	0,40 %	8,33 %
180-189	402	2	0,50 %	8,33 %
190-199	218	0	0,00 %	0,00 %
200-209	139	1	0,72 %	4,17 %
210-219	117	1	0,85 %	4,17 %
220-229	512	1	0,20 %	4,17 %
230-239	142	1	0,70 %	4,17 %
240-249	100	0	0,00 %	0,00 %
250-259	26	0	0,00 %	0,00 %
260-269	38	1	2,63 %	4,17 %
270-279	49	0	0,00 %	0,00 %
280-289	4	0	0,00 %	0,00 %
290- +	11	0	0,00 %	0,00 %
Total	6 582	24	0,36 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Avril				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	15	3	20,00 %	6,52 %
0-09	38	0	0,00 %	0,00 %
10-19	539	0	0,00 %	0,00 %
20-29	726	2	0,28 %	4,35 %
30-39	525	0	0,00 %	0,00 %
40-49	309	1	0,32 %	2,17 %
50-59	694	0	0,00 %	0,00 %
60-69	170	0	0,00 %	0,00 %
70-79	150	1	0,67 %	2,17 %
80-89	366	0	0,00 %	0,00 %
90-99	610	0	0,00 %	0,00 %
100-109	347	0	0,00 %	0,00 %
110-119	207	1	0,48 %	2,17 %
120-129	654	3	0,46 %	6,52 %
130-139	911	2	0,22 %	4,35 %
140-149	544	1	0,18 %	2,17 %
150-159	566	5	0,88 %	10,87 %
160-169	647	3	0,46 %	6,52 %
170-179	840	6	0,71 %	13,04 %
180-189	921	4	0,43 %	8,70 %
190-199	486	5	1,03 %	10,87 %
200-209	279	0	0,00 %	0,00 %
210-219	176	8	4,55 %	17,39 %
220-229	2 365	1	0,04 %	2,17 %
230-239	161	0	0,00 %	0,00 %
240-249	117	0	0,00 %	0,00 %
250-259	24	0	0,00 %	0,00 %
260-269	41	0	0,00 %	0,00 %
270-279	46	0	0,00 %	0,00 %
280-289	8	0	0,00 %	0,00 %
290- +	10	0	0,00 %	0,00 %
Total	13 492	46	0,34 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Mai				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	29	0	0,00 %	0,00 %
0-09	144	0	0,00 %	0,00 %
10-19	1 054	0	0,00 %	0,00 %
20-29	1 177	2	0,17 %	4,44 %
30-39	983	2	0,20 %	4,44 %
40-49	502	0	0,00 %	0,00 %
50-59	1 717	1	0,06 %	2,22 %
60-69	147	0	0,00 %	0,00 %
70-79	90	0	0,00 %	0,00 %
80-89	292	0	0,00 %	0,00 %
90-99	813	1	0,12 %	2,22 %
100-109	376	1	0,27 %	2,22 %
110-119	289	3	1,04 %	6,67 %
120-129	816	5	0,61 %	11,11 %
130-139	852	2	0,23 %	4,44 %
140-149	692	0	0,00 %	0,00 %
150-159	501	3	0,60 %	6,67 %
160-169	660	4	0,61 %	8,89 %
170-179	1 039	5	0,48 %	11,11 %
180-189	1 188	2	0,17 %	4,44 %
190-199	580	4	0,69 %	8,89 %
200-209	360	0	0,00 %	0,00 %
210-219	241	3	1,24 %	6,67 %
220-229	2 771	5	0,18 %	11,11 %
230-239	163	0	0,00 %	0,00 %
240-249	152	0	0,00 %	0,00 %
250-259	29	1	3,45 %	2,22 %
260-269	52	0	0,00 %	0,00 %
270-279	41	0	0,00 %	0,00 %
280-289	7	1	14,29 %	2,22 %
290- +	7	0	0,00 %	0,00 %
Total	17 764	45	0,25 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Juin				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	14	4	28,57 %	8,89 %
0-09	80	0	0,00 %	0,00 %
10-19	1 198	0	0,00 %	0,00 %
20-29	1 369	1	0,07 %	2,22 %
30-39	1 323	2	0,15 %	4,44 %
40-49	994	0	0,00 %	0,00 %
50-59	2 571	0	0,00 %	0,00 %
60-69	245	1	0,41 %	2,22 %
70-79	132	0	0,00 %	0,00 %
80-89	224	0	0,00 %	0,00 %
90-99	830	0	0,00 %	0,00 %
100-109	424	0	0,00 %	0,00 %
110-119	313	0	0,00 %	0,00 %
120-129	713	3	0,42 %	6,67 %
130-139	933	1	0,11 %	2,22 %
140-149	634	5	0,79 %	11,11 %
150-159	600	5	0,83 %	11,11 %
160-169	562	0	0,00 %	0,00 %
170-179	917	2	0,22 %	4,44 %
180-189	1 073	6	0,56 %	13,33 %
190-199	619	1	0,16 %	2,22 %
200-209	278	3	1,08 %	6,67 %
210-219	246	6	2,44 %	13,33 %
220-229	2 564	4	0,16 %	8,89 %
230-239	141	1	0,71 %	2,22 %
240-249	116	0	0,00 %	0,00 %
250-259	16	0	0,00 %	0,00 %
260-269	42	0	0,00 %	0,00 %
270-279	48	0	0,00 %	0,00 %
280-289	7	0	0,00 %	0,00 %
290- +	6	0	0,00 %	0,00 %
Total	19 232	45	0,23 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Juillet				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	33	1	3,03 %	2,22 %
0-09	93	0	0,00 %	0,00 %
10-19	1 206	3	0,25 %	6,67 %
20-29	1 765	1	0,06 %	2,22 %
30-39	1 208	1	0,08 %	2,22 %
40-49	1 013	0	0,00 %	0,00 %
50-59	2 783	1	0,04 %	2,22 %
60-69	232	0	0,00 %	0,00 %
70-79	154	0	0,00 %	0,00 %
80-89	259	1	0,39 %	2,22 %
90-99	776	1	0,13 %	2,22 %
100-109	484	0	0,00 %	0,00 %
110-119	338	2	0,59 %	4,44 %
120-129	723	3	0,41 %	6,67 %
130-139	1 030	1	0,10 %	2,22 %
140-149	621	1	0,16 %	2,22 %
150-159	549	1	0,18 %	2,22 %
160-169	551	3	0,54 %	6,67 %
170-179	1 038	8	0,77 %	17,78 %
180-189	1 120	4	0,36 %	8,89 %
190-199	582	4	0,69 %	8,89 %
200-209	282	0	0,00 %	0,00 %
210-219	237	5	2,11 %	11,11 %
220-229	2 685	2	0,07 %	4,44 %
230-239	168	1	0,60 %	2,22 %
240-249	114	0	0,00 %	0,00 %
250-259	14	0	0,00 %	0,00 %
260-269	45	0	0,00 %	0,00 %
270-279	55	1	1,82 %	2,22 %
280-289	12	0	0,00 %	0,00 %
290- +	14	0	0,00 %	0,00 %
Total	20 184	45	0,22 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Août				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	15	5	33,33 %	6,33 %
0-09	84	0	0,00 %	0,00 %
10-19	1 100	1	0,09 %	1,27 %
20-29	1 357	4	0,29 %	5,06 %
30-39	1 302	3	0,23 %	3,80 %
40-49	978	0	0,00 %	0,00 %
50-59	2 771	1	0,04 %	1,27 %
60-69	222	2	0,90 %	2,53 %
70-79	170	0	0,00 %	0,00 %
80-89	192	1	0,52 %	1,27 %
90-99	912	1	0,11 %	1,27 %
100-109	447	0	0,00 %	0,00 %
110-119	357	6	1,68 %	7,59 %
120-129	694	3	0,43 %	3,80 %
130-139	916	0	0,00 %	0,00 %
140-149	658	3	0,46 %	3,80 %
150-159	642	3	0,47 %	3,80 %
160-169	567	5	0,88 %	6,33 %
170-179	1 028	8	0,78 %	10,13 %
180-189	1 119	10	0,89 %	12,66 %
190-199	539	4	0,74 %	5,06 %
200-209	299	3	1,00 %	3,80 %
210-219	235	13	5,53 %	16,46 %
220-229	2 577	1	0,04 %	1,27 %
230-239	159	2	1,26 %	2,53 %
240-249	141	0	0,00 %	0,00 %
250-259	19	0	0,00 %	0,00 %
260-269	40	0	0,00 %	0,00 %
270-279	59	0	0,00 %	0,00 %
280-289	8	0	0,00 %	0,00 %
290- +	6	0	0,00 %	0,00 %
Total	19 613	79	0,40 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Septembre				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	33	2	6,06 %	3,51 %
0-09	47	0	0,00 %	0,00 %
10-19	1 115	0	0,00 %	0,00 %
20-29	1 024	1	0,10 %	1,75 %
30-39	1 215	3	0,25 %	5,26 %
40-49	699	2	0,29 %	3,51 %
50-59	2 309	1	0,04 %	1,75 %
60-69	213	0	0,00 %	0,00 %
70-79	140	0	0,00 %	0,00 %
80-89	253	1	0,40 %	1,75 %
90-99	904	0	0,00 %	0,00 %
100-109	467	0	0,00 %	0,00 %
110-119	271	2	0,74 %	3,51 %
120-129	649	2	0,31 %	3,51 %
130-139	847	1	0,12 %	1,75 %
140-149	619	2	0,32 %	3,51 %
150-159	586	3	0,51 %	5,26 %
160-169	546	2	0,37 %	3,51 %
170-179	1 004	7	0,70 %	12,28 %
180-189	1 159	3	0,26 %	5,26 %
190-199	546	4	0,73 %	7,02 %
200-209	346	1	0,29 %	1,75 %
210-219	232	11	4,74 %	19,30 %
220-229	2 511	4	0,16 %	7,02 %
230-239	197	2	1,02 %	3,51 %
240-249	177	2	1,13 %	3,51 %
250-259	19	1	5,26 %	1,75 %
260-269	49	0	0,00 %	0,00 %
270-279	57	0	0,00 %	0,00 %
280-289	15	0	0,00 %	0,00 %
290- +	7	0	0,00 %	0,00 %
Total	18 256	57	0,31 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Octobre				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	26	0	0,00 %	0,00 %
0-09	102	0	0,00 %	0,00 %
10-19	937	1	0,11 %	2,13 %
20-29	1 056	4	0,38 %	8,51 %
30-39	1 063	3	0,28 %	6,38 %
40-49	468	1	0,21 %	2,13 %
50-59	1 584	1	0,06 %	2,13 %
60-69	209	0	0,00 %	0,00 %
70-79	123	0	0,00 %	0,00 %
80-89	226	1	0,44 %	2,13 %
90-99	818	3	0,37 %	6,38 %
100-109	496	1	0,20 %	2,13 %
110-119	314	3	0,96 %	6,38 %
120-129	774	1	0,13 %	2,13 %
130-139	947	1	0,11 %	2,13 %
140-149	655	2	0,31 %	4,26 %
150-159	592	2	0,34 %	4,26 %
160-169	614	1	0,16 %	2,13 %
170-179	1 097	8	0,73 %	17,02 %
180-189	1 314	5	0,38 %	10,64 %
190-199	599	1	0,17 %	2,13 %
200-209	385	0	0,00 %	0,00 %
210-219	288	3	1,04 %	6,38 %
220-229	2 712	2	0,07 %	4,26 %
230-239	208	1	0,48 %	2,13 %
240-249	142	2	1,41 %	4,26 %
250-259	12	0	0,00 %	0,00 %
260-269	60	0	0,00 %	0,00 %
270-279	66	0	0,00 %	0,00 %
280-289	6	0	0,00 %	0,00 %
290- +	14	0	0,00 %	0,00 %
Total	17 907	47	0,26 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Novembre				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	15	1	6,67 %	1,79 %
0-09	64	0	0,00 %	0,00 %
10-19	598	0	0,00 %	0,00 %
20-29	910	1	0,11 %	1,79 %
30-39	857	3	0,35 %	5,36 %
40-49	290	2	0,69 %	3,57 %
50-59	828	0	0,00 %	0,00 %
60-69	214	1	0,47 %	1,79 %
70-79	94	0	0,00 %	0,00 %
80-89	304	1	0,33 %	1,79 %
90-99	769	0	0,00 %	0,00 %
100-109	433	0	0,00 %	0,00 %
110-119	251	4	1,59 %	7,14 %
120-129	792	1	0,13 %	1,79 %
130-139	951	0	0,00 %	0,00 %
140-149	692	1	0,14 %	1,79 %
150-159	591	5	0,85 %	8,93 %
160-169	674	1	0,15 %	1,79 %
170-179	1 208	11	0,91 %	19,64 %
180-189	1 469	9	0,61 %	16,07 %
190-199	624	4	0,64 %	7,14 %
200-209	347	0	0,00 %	0,00 %
210-219	292	9	3,08 %	16,07 %
220-229	2 795	2	0,07 %	3,57 %
230-239	154	0	0,00 %	0,00 %
240-249	126	0	0,00 %	0,00 %
250-259	19	0	0,00 %	0,00 %
260-269	41	0	0,00 %	0,00 %
270-279	58	0	0,00 %	0,00 %
280-289	7	0	0,00 %	0,00 %
290- +	10	0	0,00 %	0,00 %
Total	16 477	56	0,34 %	100,00 %

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur et par mois				
Décembre				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	10	6	60,00 %	8,70 %
0-09	11	0	0,00 %	0,00 %
10-19	212	0	0,00 %	0,00 %
20-29	497	1	0,20 %	1,45 %
30-39	564	0	0,00 %	0,00 %
40-49	231	0	0,00 %	0,00 %
50-59	632	0	0,00 %	0,00 %
60-69	81	1	1,23 %	1,45 %
70-79	95	0	0,00 %	0,00 %
80-89	353	1	0,28 %	1,45 %
90-99	748	1	0,13 %	1,45 %
100-109	322	1	0,31 %	1,45 %
110-119	200	0	0,00 %	0,00 %
120-129	701	6	0,86 %	8,70 %
130-139	851	5	0,59 %	7,25 %
140-149	618	3	0,49 %	4,35 %
150-159	521	3	0,58 %	4,35 %
160-169	624	2	0,32 %	2,90 %
170-179	854	11	1,29 %	15,94 %
180-189	1 075	10	0,93 %	14,49 %
190-199	476	5	1,05 %	7,25 %
200-209	263	1	0,38 %	1,45 %
210-219	194	10	5,15 %	14,49 %
220-229	2 113	1	0,05 %	1,45 %
230-239	146	1	0,68 %	1,45 %
240-249	102	0	0,00 %	0,00 %
250-259	14	0	0,00 %	0,00 %
260-269	39	0	0,00 %	0,00 %
270-279	57	0	0,00 %	0,00 %
280-289	7	0	0,00 %	0,00 %
290- +	6	0	0,00 %	0,00 %
Total	12 617	69	0,55 %	100,00 %

8. Taux d'accidents par classe de longueur : été vs hiver

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de longueur (Été vs Hiver)								
Classe de longueur	Été				Hiver			
	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	180	16	8,89 %	3,81 %	17	8	47,06 %	4,40 %
0-09	652	0	0,00 %	0,00 %	14	0	0,00 %	0,00 %
10-19	7 747	5	0,06 %	1,19 %	285	0	0,00 %	0,00 %
20-29	9 384	16	0,17 %	3,81 %	1 257	3	0,24 %	1,65 %
30-39	8 476	17	0,20 %	4,05 %	1 261	11	0,87 %	6,04 %
40-49	5 253	6	0,11 %	1,43 %	314	2	0,64 %	1,10 %
50-59	15 257	5	0,03 %	1,19 %	1 293	0	0,00 %	0,00 %
60-69	1 652	4	0,24 %	0,95 %	213	1	0,47 %	0,55 %
70-79	1 053	1	0,09 %	0,24 %	208	0	0,00 %	0,00 %
80-89	2 116	5	0,24 %	1,19 %	1 578	1	0,06 %	0,55 %
90-99	6 432	6	0,09 %	1,43 %	1 765	1	0,06 %	0,55 %
100-109	3 474	2	0,06 %	0,48 %	556	2	0,36 %	1,10 %
110-119	2 340	21	0,90 %	5,00 %	499	5	1,00 %	2,75 %
120-129	5 815	21	0,36 %	5,00 %	2 201	19	0,86 %	10,44 %
130-139	7 387	8	0,11 %	1,90 %	2 947	15	0,51 %	8,24 %
140-149	5 115	15	0,29 %	3,57 %	1 585	10	0,63 %	5,49 %
150-159	4 627	27	0,58 %	6,43 %	1 407	13	0,92 %	7,14 %
160-169	4 821	19	0,39 %	4,52 %	1 824	11	0,60 %	6,04 %
170-179	8 171	55	0,67 %	13,10 %	2 212	20	0,90 %	10,99 %
180-189	9 363	43	0,46 %	10,24 %	2 079	15	0,72 %	8,24 %
190-199	4 575	27	0,59 %	6,43 %	1 162	9	0,77 %	4,95 %
200-209	2 576	7	0,27 %	1,67 %	633	7	1,11 %	3,85 %
210-219	1 947	58	2,98 %	13,81 %	503	15	2,98 %	8,24 %
220-229	20 980	21	0,10 %	5,00 %	3 064	6	0,20 %	3,30 %
230-239	1 351	7	0,52 %	1,67 %	559	4	0,72 %	2,20 %
240-249	1 085	4	0,37 %	0,95 %	380	2	0,53 %	1,10 %
250-259	152	2	1,32 %	0,48 %	63	0	0,00 %	0,00 %
260-269	370	0	0,00 %	0,00 %	154	2	1,30 %	1,10 %
270-279	430	1	0,23 %	0,24 %	202	0	0,00 %	0,00 %
280-289	70	1	1,43 %	0,24 %	21	0	0,00 %	0,00 %
290- +	74	0	0,00 %	0,00 %	28	0	0,00 %	0,00 %
Total	142 925	420	0,29 %	100,00 %	30 284	182	0,60 %	100,00 %

9. Taux d'accidents par classe de TJB

Sans 1987 et 2002

Accidents par classe de TJB				
Classe TJB	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnu	4 948	16	0,32 %	2,66 %
1-4999	67 537	97	0,14 %	16,11 %
5000-9999	23 643	95	0,40 %	15,78 %
10000-14999	15 137	95	0,63 %	15,78 %
15000-19999	34 373	167	0,49 %	27,74 %
20000-24999	15 734	82	0,52 %	13,62 %
25000-29999	2 338	10	0,43 %	1,66 %
30000-34999	3 747	20	0,53 %	3,32 %
35000-39999	2 044	6	0,29 %	1,00 %
40000-44999	1 642	6	0,37 %	1,00 %
45000-49999	262	1	0,38 %	0,17 %
50000-54999	170	0	0,00 %	0,00 %
55000-59999	204	1	0,49 %	0,17 %
60000-64999	154	0	0,00 %	0,00 %
65000-69999	110	0	0,00 %	0,00 %
70000-74999	50	1	2,00 %	0,17 %
75000-79999	154	2	1,30 %	0,33 %
80000-84999	848	3	0,35 %	0,50 %
85000-89999	6	0	0,00 %	0,00 %
90000- +	108	0	0,00 %	0,00 %
Total	173 209	602	0,35 %	100,00 %

10. Taux d'accidents par type de navire

Sans 1987 et 2002

Accidents par type de navire				
Type	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Citerne	34 638	94	0,27 %	15,61 %
Marchandises	28 499	153	0,54 %	25,42 %
Passagers	17 697	8	0,05 %	1,33 %
Vraquiers	54 958	289	0,53 %	48,01 %
Autres	37 417	58	0,16 %	9,63 %
Total	173 209	602	0,35 %	100,00 %

11. Taux d'accidents de navires citernes par classe de TJB

Sans 1987 et 2002

Accidents de navires citernes par classe de TJB				
Classe TJB	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnu	4	0	0,00 %	0,00 %
1-4999	13 298	14	0,11 %	14,89 %
5000-9999	13 987	48	0,34 %	51,06 %
10000-14999	2 128	11	0,52 %	11,70 %
15000-19999	1 301	6	0,46 %	6,38 %
20000-24999	1 359	9	0,66 %	9,57 %
25000-29999	999	2	0,20 %	2,13 %
30000-34999	259	0	0,00 %	0,00 %
35000-39999	193	1	0,52 %	1,06 %
40000-44999	137	0	0,00 %	0,00 %
45000-49999	8	0	0,00 %	0,00 %
50000-54999	94	0	0,00 %	0,00 %
55000-59999	26	0	0,00 %	0,00 %
60000-64999	22	0	0,00 %	0,00 %
65000-69999	14	0	0,00 %	0,00 %
70000-74999	8	0	0,00 %	0,00 %
75000-79999	112	1	0,89 %	1,06 %
80000-84999	683	2	0,29 %	2,13 %
85000-89999	4	0	0,00 %	0,00 %
90000- +	2	0	0,00 %	0,00 %
Total	34 638	94	0,27 %	100,00 %

12. Taux d'accidents de navires passagers par classe de longueur

Sans 1987 et 2002

Accidents de navires passagers par classe de longueur				
Classe de longueur	Passages	Nb d'acc.	Tx d'acc.	Proportion d'accidents
Inconnue	10	1	10,00 %	12,50 %
0-09	17	0	0,00 %	0,00 %
10-19	1 132	0	0,00 %	0,00 %
20-29	857	0	0,00 %	0,00 %
30-39	2 110	0	0,00 %	0,00 %
40-49	2 482	0	0,00 %	0,00 %
50-59	8 431	0	0,00 %	0,00 %
60-69	531	0	0,00 %	0,00 %
70-79	396	0	0,00 %	0,00 %
80-89	176	0	0,00 %	0,00 %
90-99	58	0	0,00 %	0,00 %
100-109	74	0	0,00 %	0,00 %
110-119	5	0	0,00 %	0,00 %
120-129	20	0	0,00 %	0,00 %
130-139	111	0	0,00 %	0,00 %
140-149	30	0	0,00 %	0,00 %
150-159	234	0	0,00 %	0,00 %
160-169	51	0	0,00 %	0,00 %
170-179	33	0	0,00 %	0,00 %
180-189	230	0	0,00 %	0,00 %
190-199	231	4	1,73 %	50,00 %
200-209	124	0	0,00 %	0,00 %
210-219	58	0	0,00 %	0,00 %
220-229	32	0	0,00 %	0,00 %
230-239	113	0	0,00 %	0,00 %
240-249	101	0	0,00 %	0,00 %
250-259	4	2	50,00 %	25,00 %
260-269	20	1	5,00 %	12,50 %
270-279	20	0	0,00 %	0,00 %
280-289	0	0	/	0,00 %
290- +	6	0	0,00 %	0,00 %
Total	16 477	8	0,05 %	100,00 %

Le très faible nombre d'accidents pour ce type de navire rend les taux d'accidents de ce tableau plus ou moins fiables.

Discussion

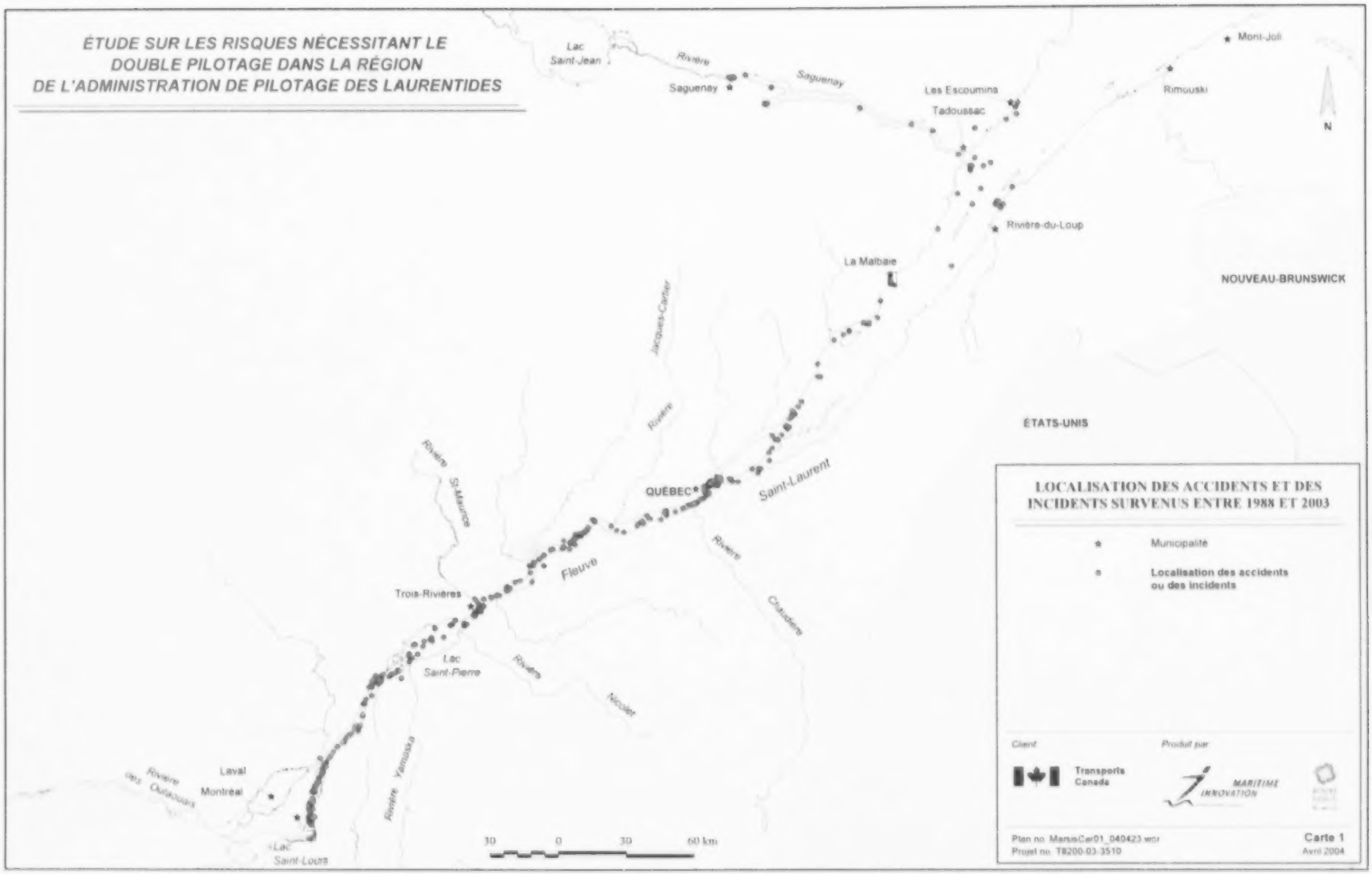
L'absence de points de comparaison, demeurant le principal obstacle en ce qui concerne les restrictions des analyses au niveau de la détermination du nombre de pilotes nécessaires dans différentes situations, font que les tableaux présentés sont principalement descriptifs.

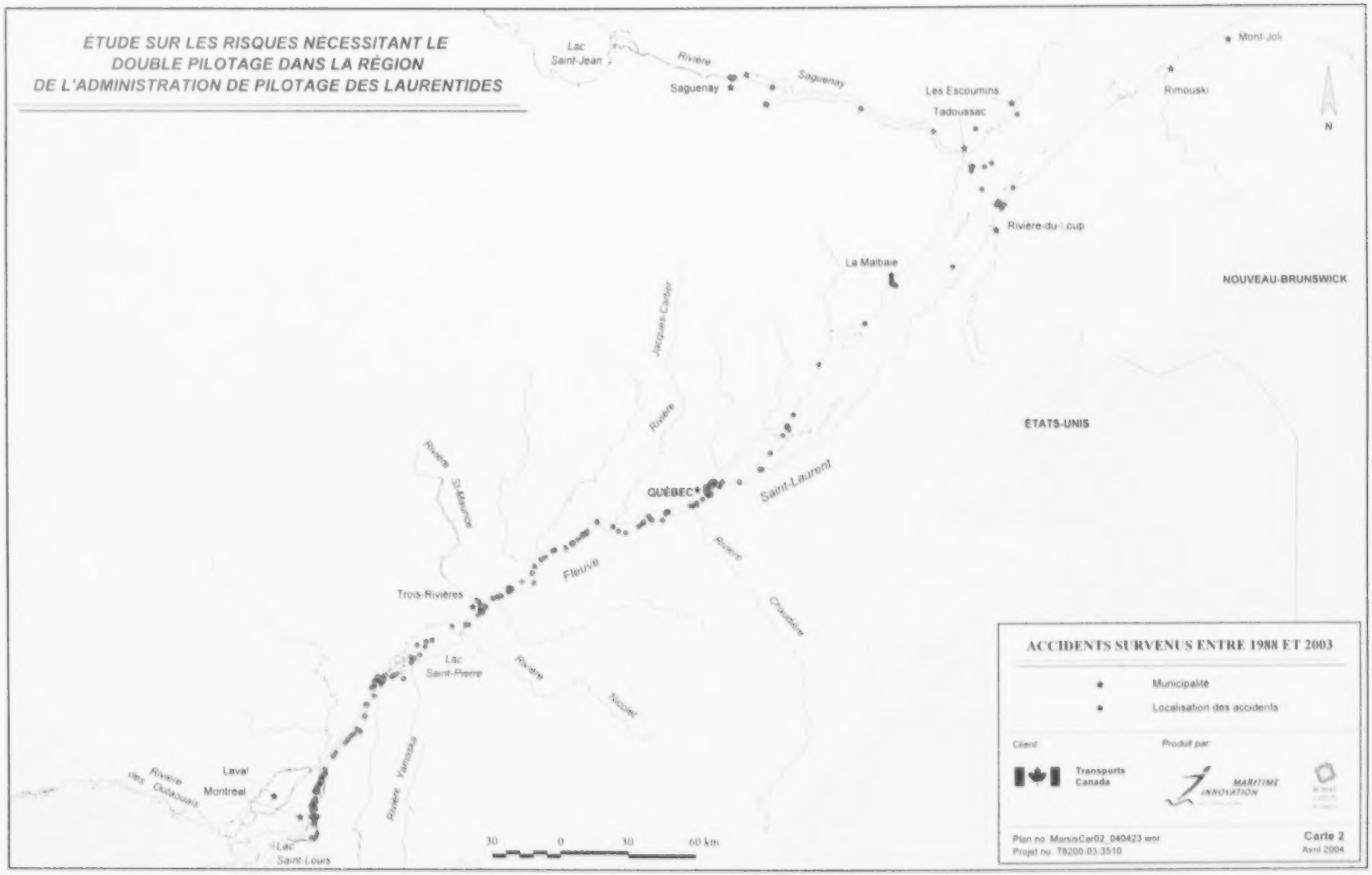
Certaines hypothèses ont quand même été émises.

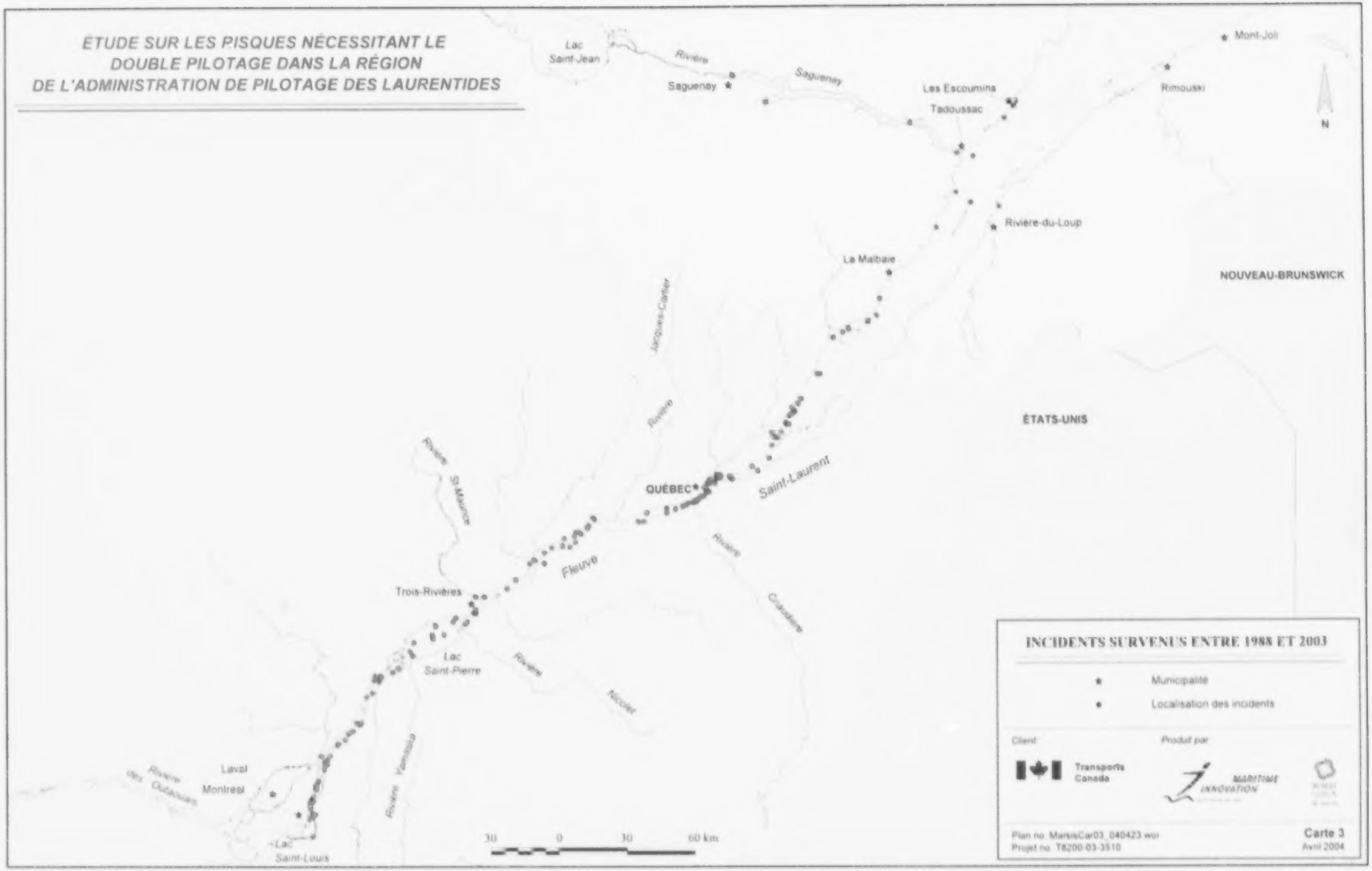
Plusieurs tableaux se rapportent à peu d'accidents et présentent donc des taux d'accidents qui sont plus ou moins fiables et difficiles à comparer. Par exemple, pour les tableaux par mois et classe de longueur, on a plusieurs classes de longueur avec 0 accident et très peu de passages et, plusieurs cas avec peu de passages. Ceci amène des taux très variables. Il faut donc interpréter ces tableaux avec prudence.

ANNEXE 4

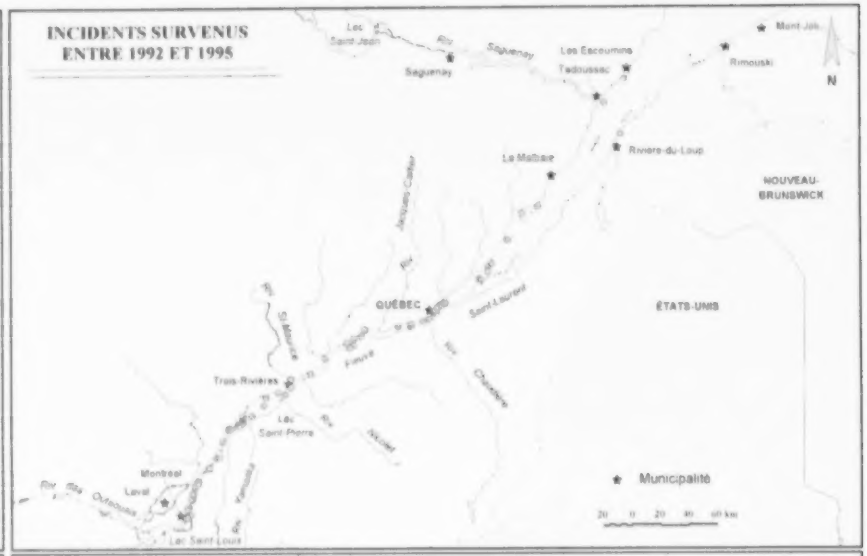
Cartes de l'analyse spatiale


ÉTUDE SUR LES RISQUES NÉCESSITANT LE DOUBLE PILOTAGE DANS LA RÉGION DE L'ADMINISTRATION DE PILOTAGE DES LAURENTIDES
Lac Saint-Jean
Rivière Saguenay
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Mont-Joli
Rimouski
N
Rivière-du-Loup
La Malbaie
NOUVEAU-BRUNSWICK
Jacques-Cartier
Rivière
ÉTATS-UNIS
Rivière St-Maurice
QUÉBEC
Saint-Laurent
Fleuve
Rivière Chaudière
Trois-Rivières
Lac Saint-Pierre
Rivière Nicolet
Rivière Yamaska
Laval
Montréal
Rivière des Outaouais
Lac Saint-Louis
30 0 30 60 km
LOCALISATION DES ACCIDENTS ET DES INCIDENTS SURVENUS ENTRE 1988 ET 2003
Municipalité
Localisation des accidents ou des incidents
Client
Transports Canada
Produit par
MARITIME INNOVATION
Plan no. MarsisCar01_040423.wor
Projet no. T8200-03-3510
Carte 1
Avril 2004

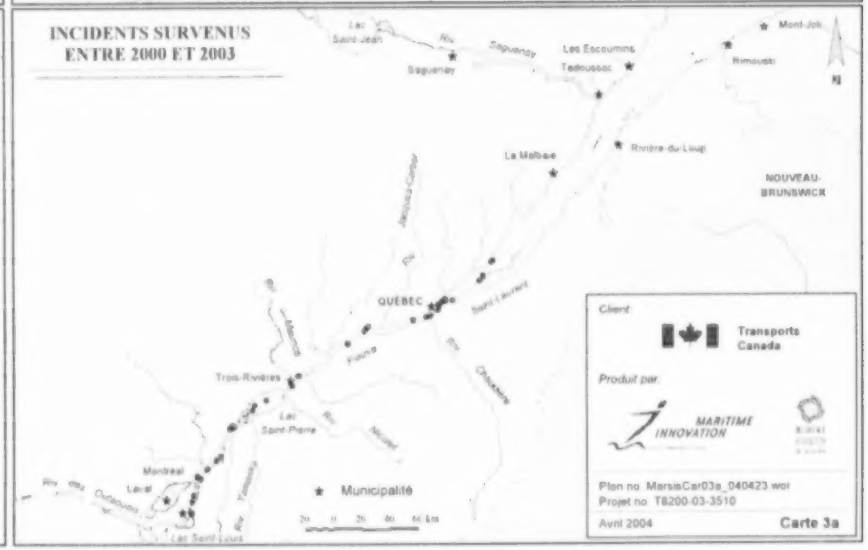

ÉTUDE SUR LES RISQUES NÉCESSITANT LE DOUBLE PILOTAGE DANS LA RÉGION DE L'ADMINISTRATION DE PILOTAGE DES LAURENTIDES
Lac Saint-Jean
Rivière Saguenay
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Mont-Joli
Rimouski
N
Rivière-du-Loup
La Malbaie
NOUVEAU-BRUNSWICK
Jacques-Cartier
Rivière
ÉTATS-UNIS
Rivière St-Maurice
QUÉBEC
Saint-Laurent
Rivière
Fleuve
Trois-Rivières
Chaudière
Lac Saint-Pierre
Rivière
Nicolet
Rivière Yamaska
Rivière des Outaouais
Laval
Montréal
Lac Saint-Louis
30 0 30 60 km
ACCIDENTS SURVENUS ENTRE 1988 ET 2003
Municipalité
Localisation des accidents
Client
Transports Canada
Produit par
MARITIME INNOVATION
Plan no: MarsisCar02_040423.wor
Projet no: T8200-03-3510
Carte 2
Avril 2004


ÉTUDE SUR LES PISQUES NÉCESSITANT LE
DOUBLE PILOTAGE DANS LA RÉGION
DE L'ADMINISTRATION DE PILOTAGE DES LAURENTIDES
Lac
Saint-Jean
Rivière
Saguenay
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Mont-Joli
Rimouski
N
Rivière-du-Loup
La Malbaie
NOUVEAU-BRUNSWICK
Jacques-Cartier
Rivière
ÉTATS-UNIS
Rivière
St-Maurice
QUÉBEC
Saint-Laurent
Fleuve
Rivière
Chaudière
Trois-Rivières
Lac
Saint-Pierre
Rivière
Nicolet
Rivière
Yamaska
Laval
Montréal
Rivière
des Outaouais
Lac
Saint-Louis
30
0
30
60 km
INCIDENTS SURVENUS ENTRE 1988 ET 2003
Municipalité
Localisation des incidents
Client
Transports Canada
Produit par
MARITIME INNOVATION
Plan no. MarsisCar03_040423.wor
Projet no. T8200-03-3510
Carte 3
Avril 2004

INCIDENTS SURVENUS
ENTRE 1988 ET 1991
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Rimouski
Mont-Joli
La Malbaie
Rivière-du-Loup
NOUVEAU-
BRUNSWICK
QUÉBEC
ÉTATS-UNIS
Trois-Rivières
Lac
Saint-Pierre
Montréal
Laval
Lac Saint-Louis
Municipalité
N

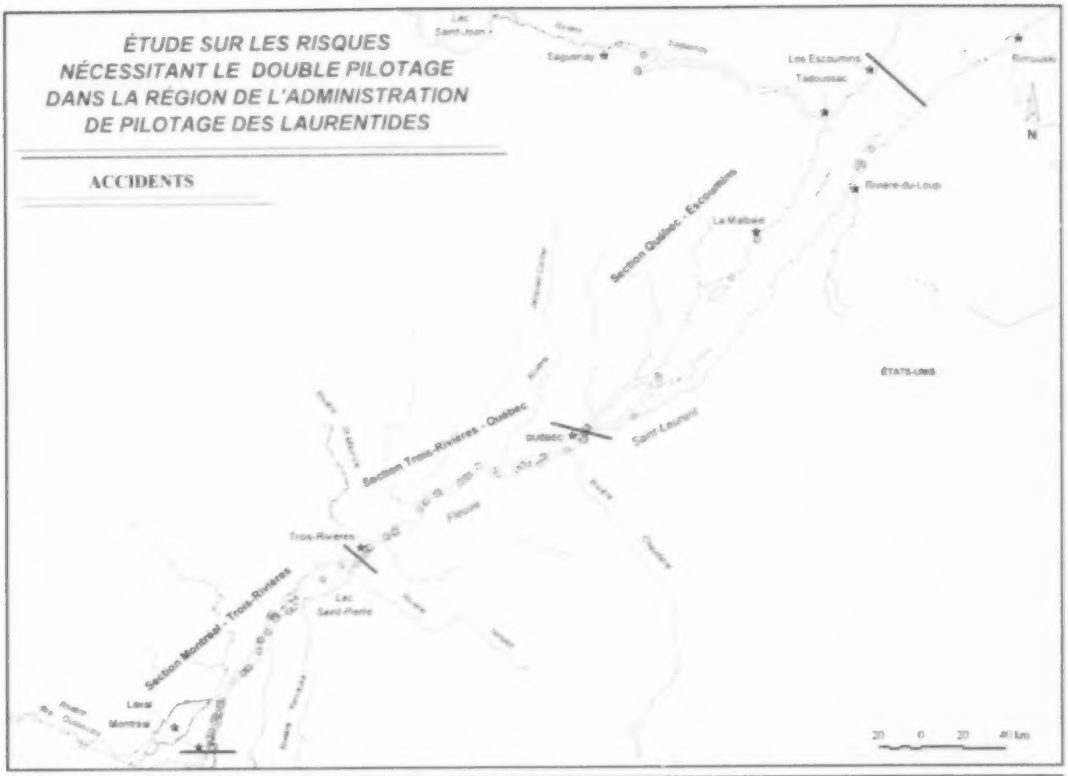

INCIDENTS SURVENUS
ENTRE 1992 ET 1995
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Rimouski
Mont-Joli
La Malbaie
Rivière-du-Loup
NOUVEAU-
BRUNSWICK
QUÉBEC
ÉTATS-UNIS
Trois-Rivières
Lac
Saint-Pierre
Montréal
Laval
Lac Saint-Louis
Municipalité
N

INCIDENTS SURVENUS
ENTRE 1996 ET 1999
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Rimouski
Mont-Joli
La Malbaie
Rivière-du-Loup
NOUVEAU-
BRUNSWICK
QUÉBEC
ÉTATS-UNIS
Trois-Rivières
Lac
Saint-Pierre
Montréal
Laval
Lac Saint-Louis
Municipalité
N

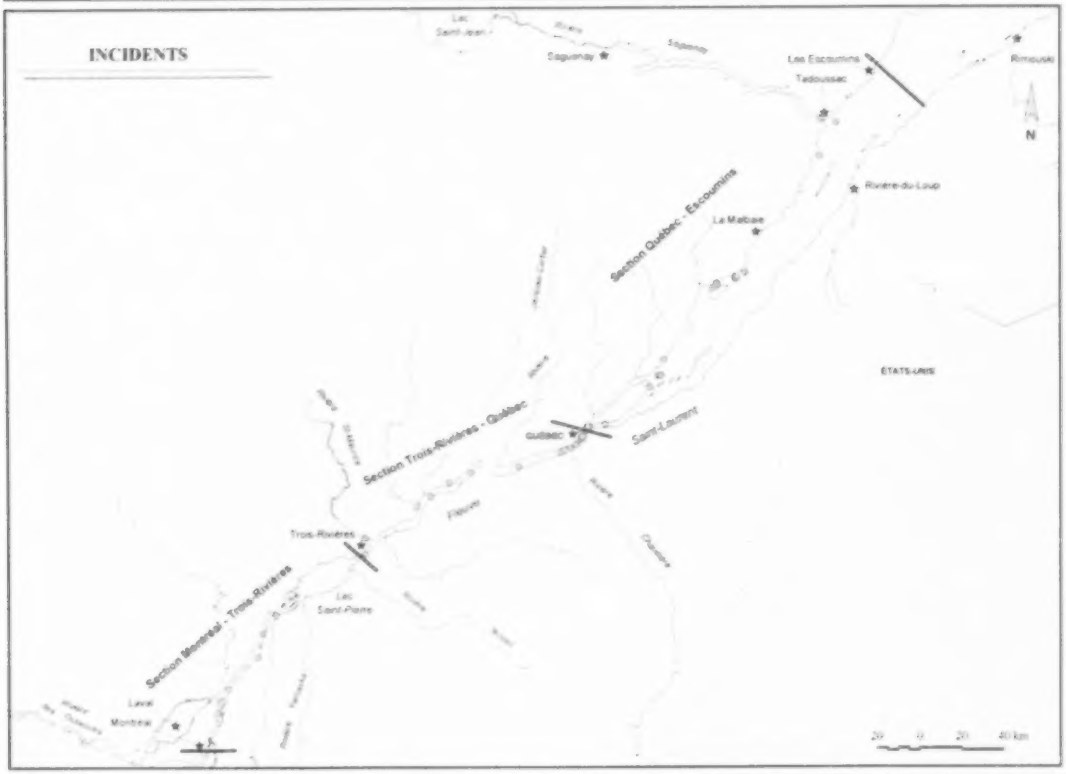

INCIDENTS SURVENUS
ENTRE 2000 ET 2003
Saguenay
Les Escoumins
Tadoussac
Rimouski
Mont-Joli
La Malbaie
Rivière-du-Loup
NOUVEAU-
BRUNSWICK
QUÉBEC
ÉTATS-UNIS
Trois-Rivières
Lac
Saint-Pierre
Montréal
Laval
Lac Saint-Louis
Municipalité
N
Client
Transports
Canada
Produit par
MARITIME
INNOVATION
Plan no MarsisCar03a_040423.wor
Projet no T8200-03-3510
Avril 2004
Carte 3a

ÉTUDE SUR LES RISQUES NÉCESSITANT LE DOUBLE PILOTAGE DANS LA RÉGION DE L'ADMINISTRATION DE PILOTAGE DES LAURENTIDES

ACCIDENTS



INCIDENTS



Municipalité

Limite des secteurs

Pilotage

Présence d'un pilote

Inconnu

ACCIDENTS ET INCIDENTS SURVENUS EN MONTANT

Client: Transports Canada

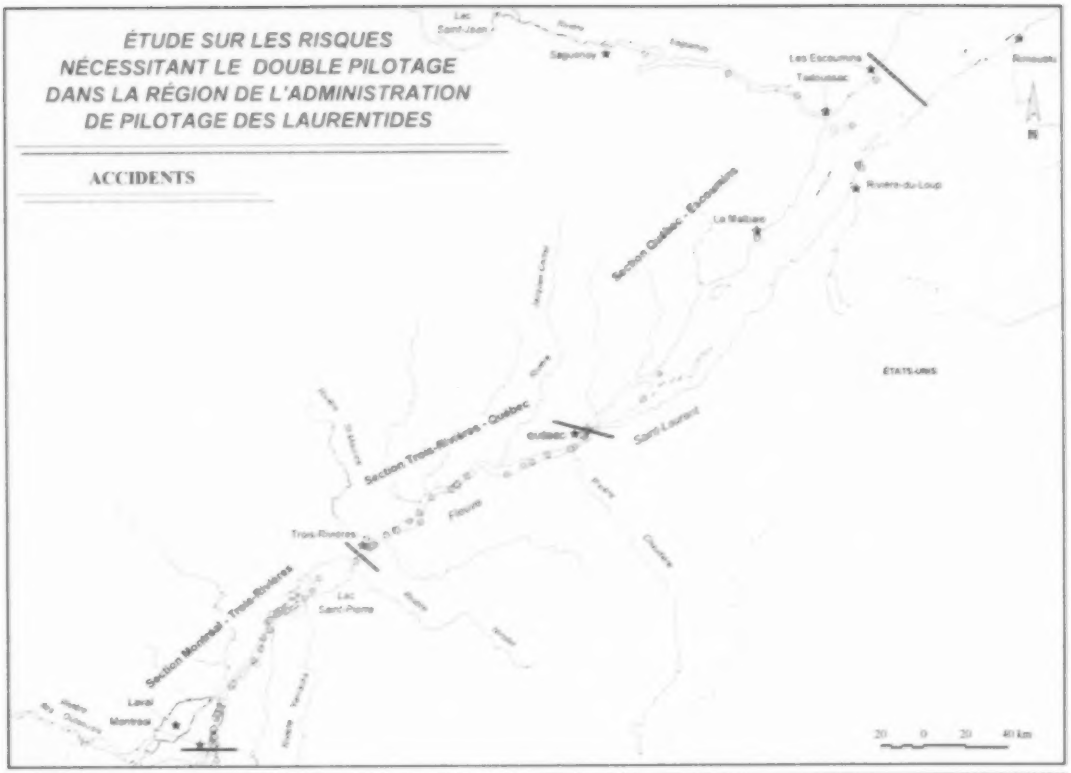
Produit par: MARITIME INNOVATION

Plan no: MarisCar04_040423.wor
Projet no: T8200-03-3510

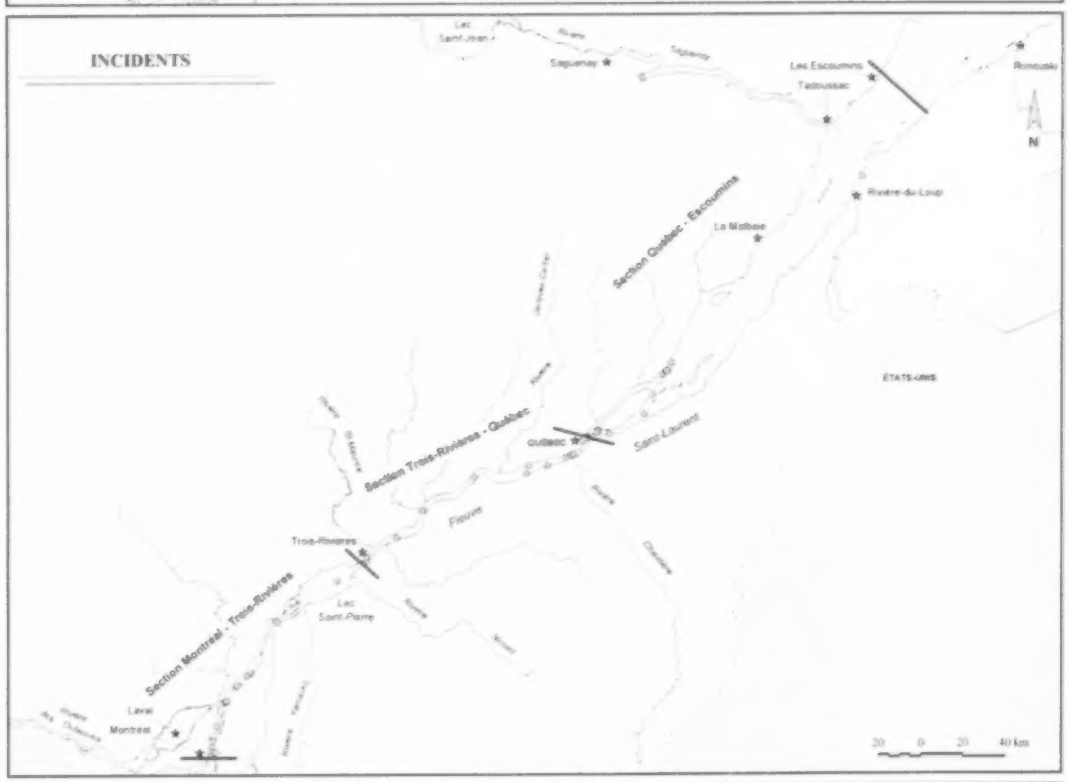
Carte 4
Avril 2004

ÉTUDE SUR LES RISQUES NÉCESSITANT LE DOUBLE PILOTAGE DANS LA RÉGION DE L'ADMINISTRATION DE PILOTAGE DES LAURENTIDES

ACCIDENTS



INCIDENTS



Municipalité

Limite des secteurs

Pilotage

Présence d'un pilote

Inconnu

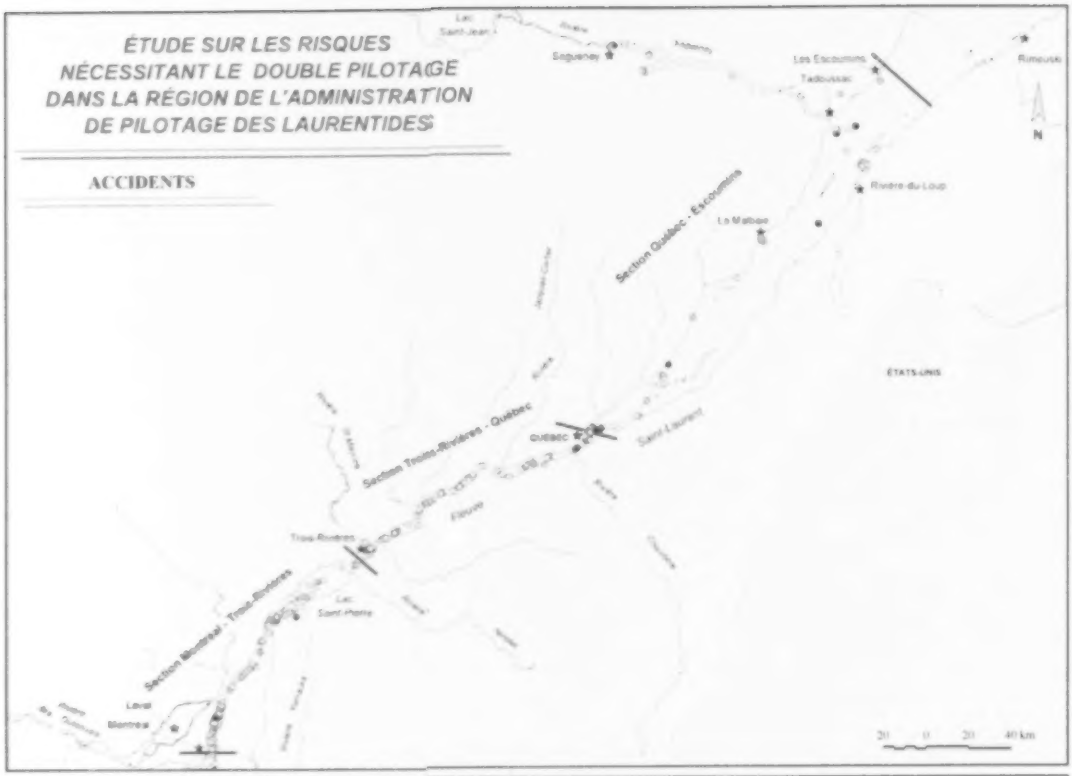
ACCIDENTS ET INCIDENTS SURVENUS EN DESCENDANT

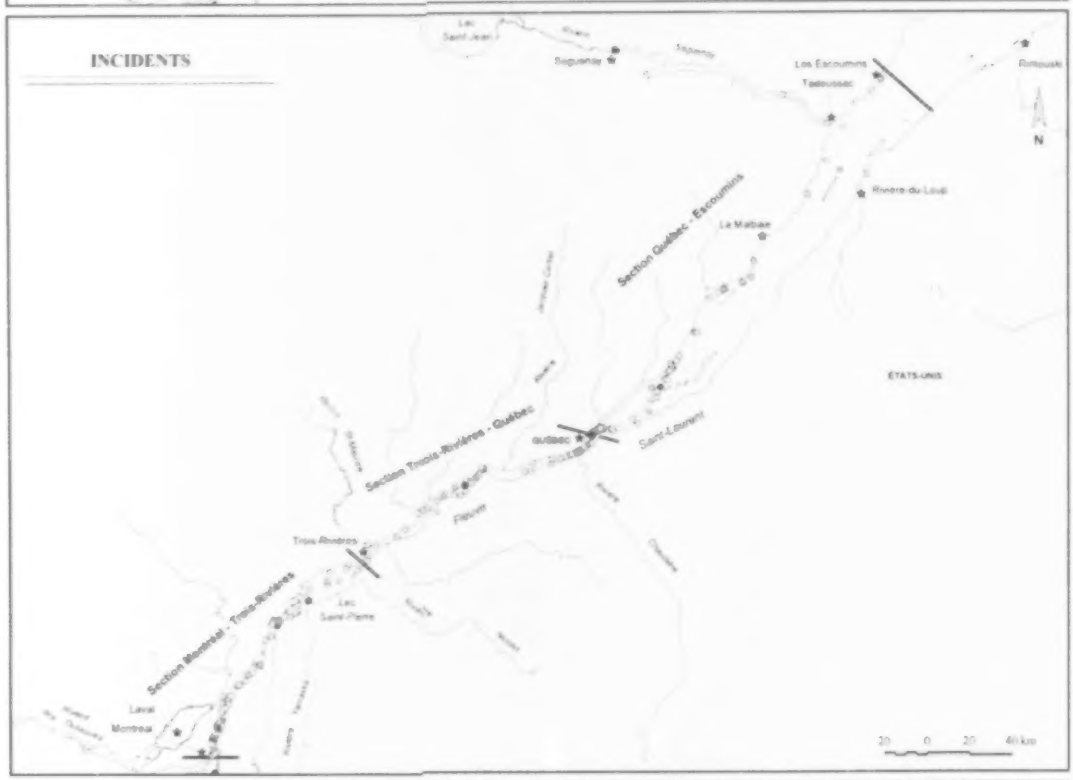
Client: Transports Canada

Produit par: MARITIME INNOVATION

Plan no: MarsusCar05_040423.wor
Projet no: T8200-03-3510

Carte 5
Avril 2004





Municipalité

Limite des secteurs

Type de navire

Citerne

Marchand

Passagers

Vraquiers

Autres

TYPE DE NAVIRES IMPLIQUÉS DANS UN ACCIDENT OU UN INCIDENT

Client: Transports Canada

Produit par: MARITIME INNOVATION

Plan no: MarsisCar06_040423.wor

Projet no: T8200-03-3510

Carte 6

Avril 2004

ANNEXE 5

Scénarios

Scénario 1

Mauvais ordre à l'homme de roue

Erreur «humaine» et conséquences possibles en eaux restreintes

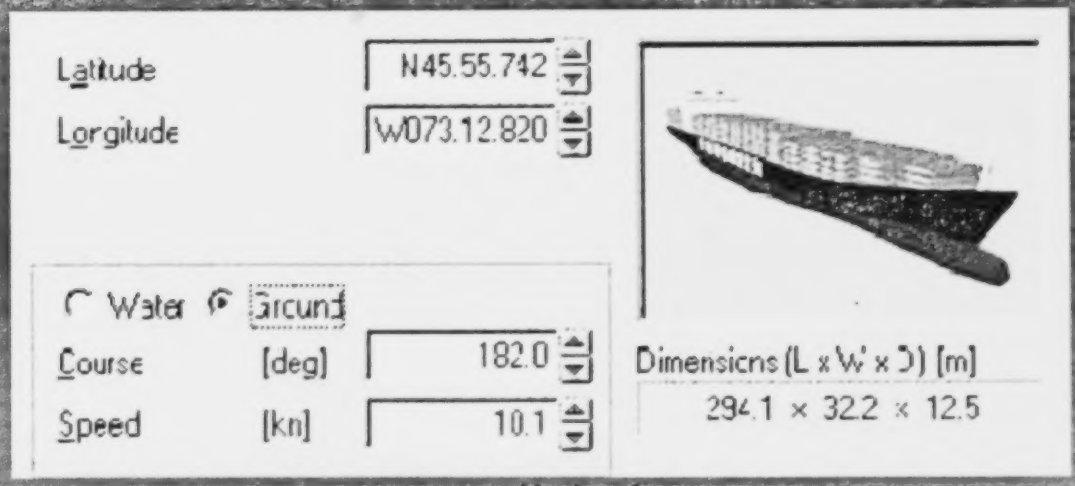
Scénario 1

Mauvais ordre à l'homme de roue

ROBERT
HAMELIN
& associés

Navire porteur : Porte-conteneurs

- Porte-conteneurs de 294 m
- Largeur : 32 m
- Déplacement : 70 000 mètres cubes
- Vitesse maximum avant : 28 nœuds
- Vitesse maximum arrière : 8 nœuds
- Machine : 48500 Kw
- Tirant d'eau avant : 9 m



Apparence stylisée du porteur

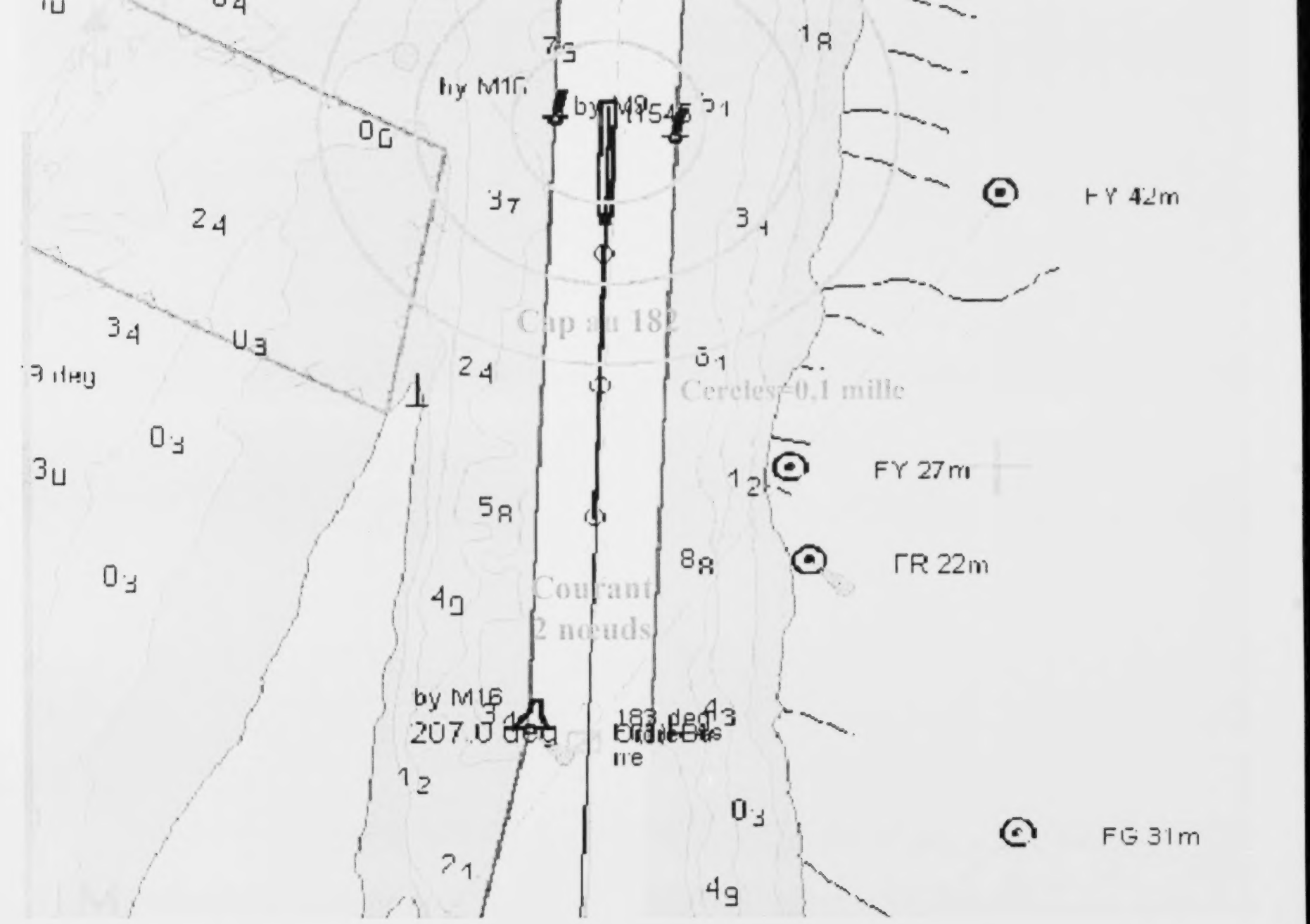
MARITIME INNOVATION

ROBERT HAMELIN & associés

Situation hypothétique

- Navire en montant sur la «Course de l'Île-Saint-Ours»
- Vitesse fond : 10 nœuds
- Cap au 182
- Pas de trafic
- Visibilité moyenne
- Vent de suroît léger

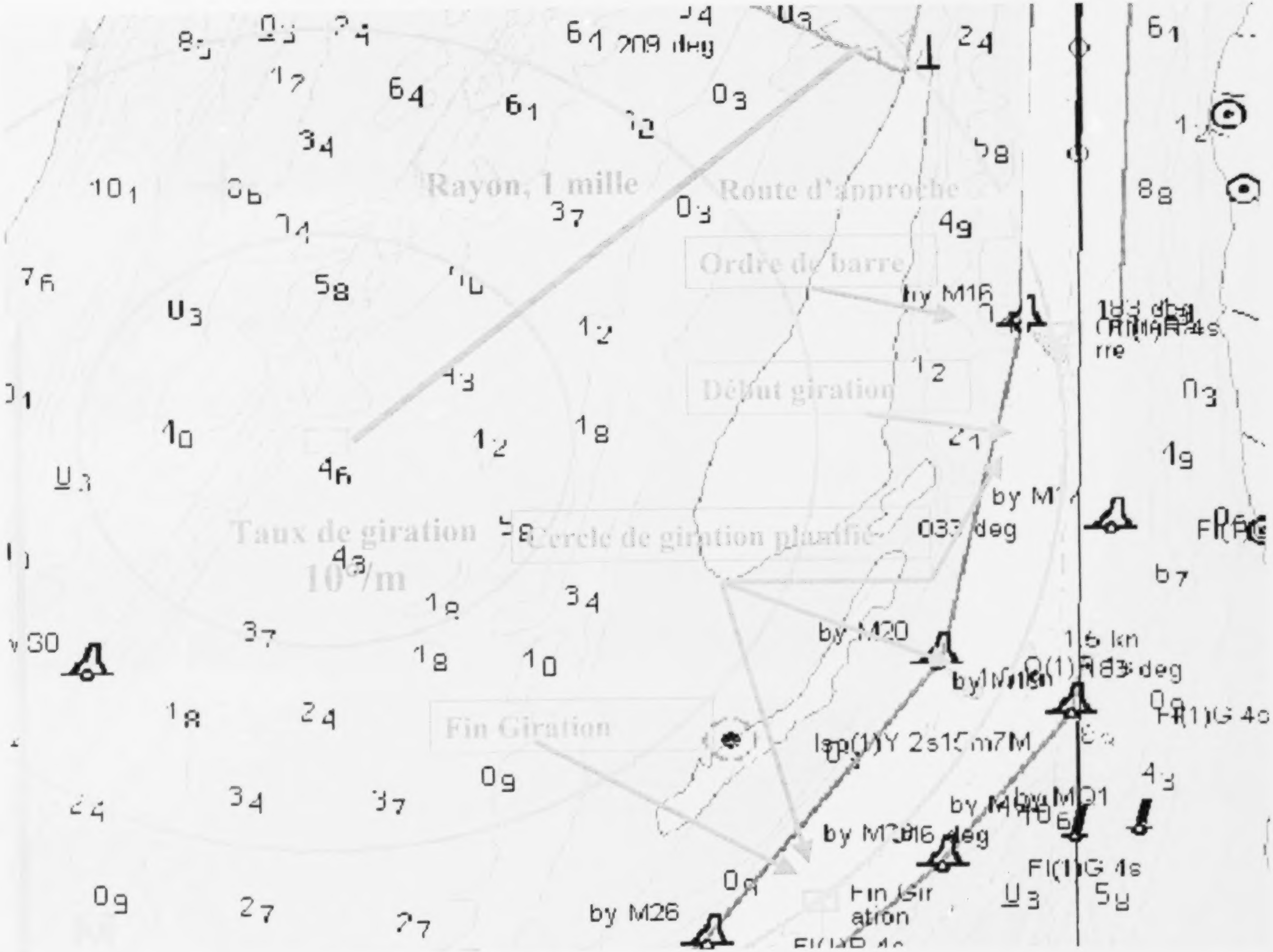
ROBERT
HAMELIN
& associés

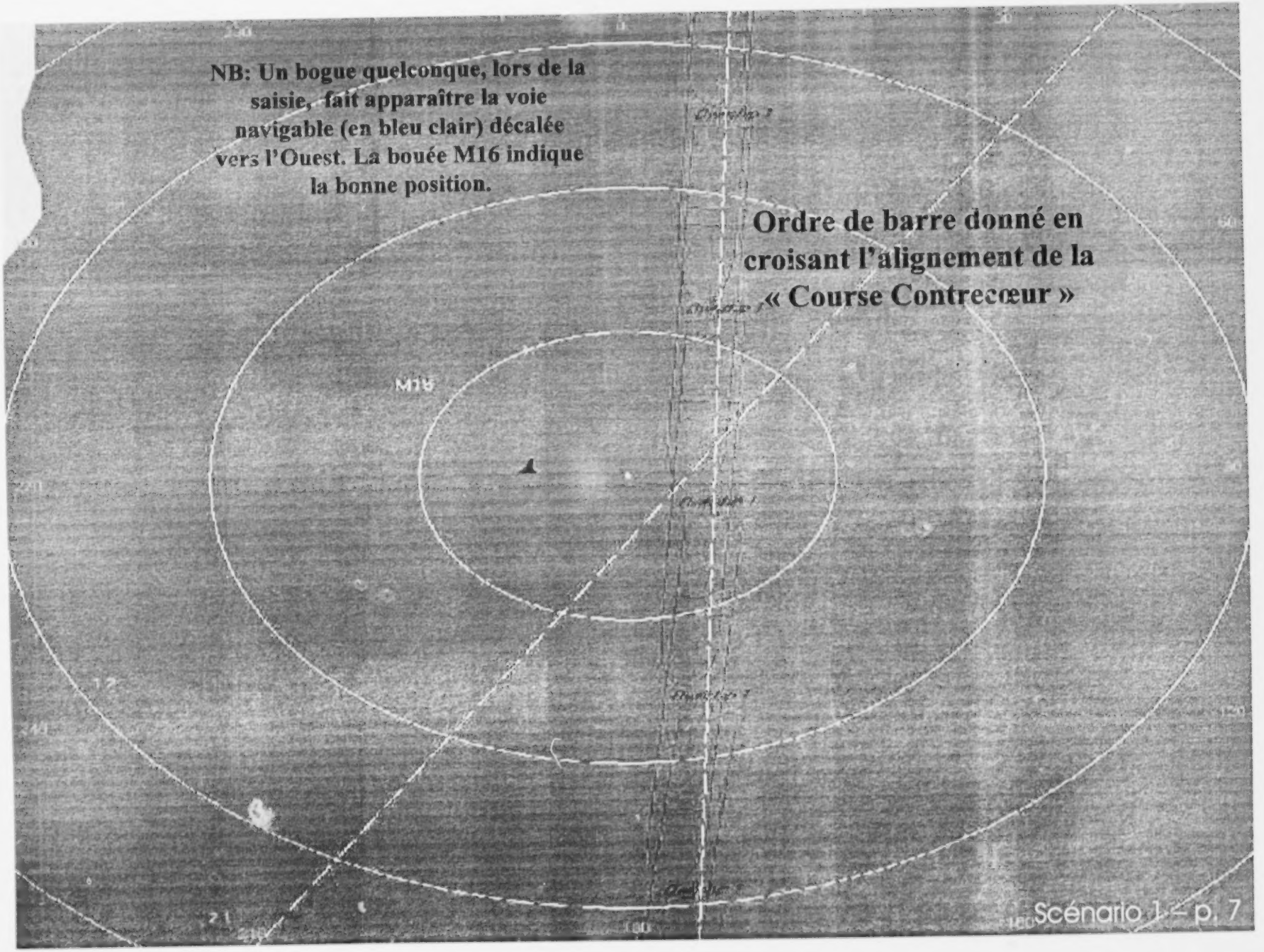

by M16
by M9
FY 42m
FY 27m
FR 22m
FG 31m
207.0 deg
183 deg
Cap sur 182
Cercles=0.1 mille
Courant
2 noeuds

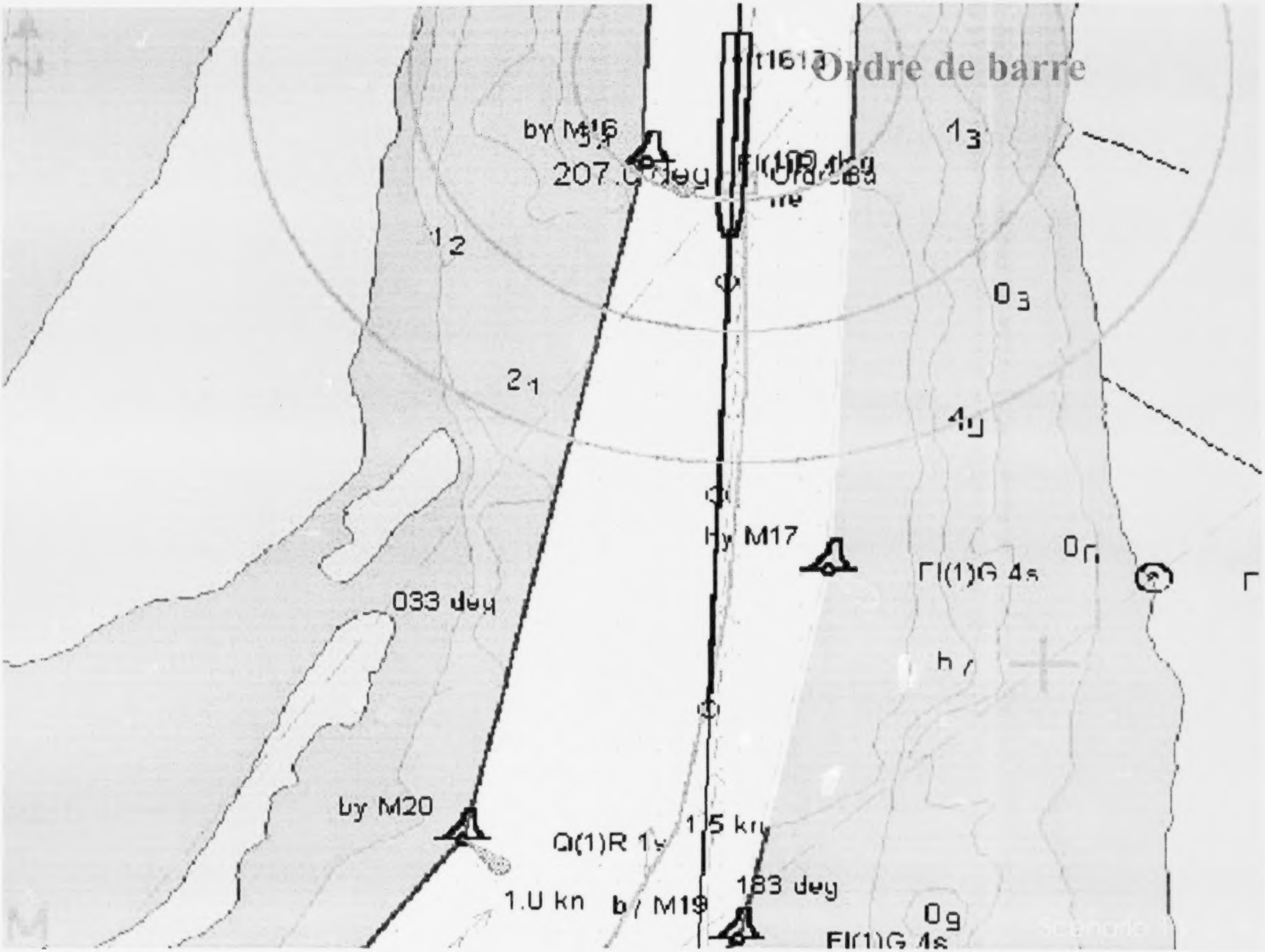
Déroulement

- Le navire est en montant à la bouée M10, sur l'alignement de la «Course de l'Île Saint-Ours», et fait une vitesse fond de 10 nœuds.
- Le capitaine a fait planifier par ses officiers, une courbe de 1 mille de rayon partant à mi-distance entre les bouées M16 et M17, sur l'alignement, et finissant à mi-distance entre les bouées M26 et M23, sur l'alignement de la «Petite Traverse Contrecœur».
- Il a demandé au pilote de négocier le virage avec un taux de giration de 10° à la minute.
- Le pilote acquiesce mais prévient le capitaine que, bien qu'il connaisse cette méthode, il ne l'a jamais utilisée en pratique.
- Le capitaine rassure le pilote en lui disant qu'il utilise cette méthode régulièrement.
- Le pilote émet des doutes étant donné l'effet du courant.
- Le capitaine lui dit que lorsque la relation «Vitesse fond/Rayon/taux de giration» est maintenue selon la formule : Vf x 360 : 2 x pi x R x 60, il n'y a aucun problème (*nous y reviendrons*).
- La diapositive suivante montre le déroulement prévu comme présenté au pilote par le capitaine.

ROBERT
HAMELIN
& associés


Rayon, 1 mille
Route d'approche
Ordre de barre
Début giration
Taux de giration
Cercle de giration planifié
Fin Giration
by M16
by M20
by M26
033 deg
209 deg
183 deg
1.5 kn
Fl(1)G 4s
Fin Gir
ation


NB: Un bogue quelconque, lors de la saisie, fait apparaître la voie navigable (en bleu clair) décalée vers l'Ouest. La bouée M16 indique la bonne position.
Ordre de barre donné en croisant l'alignement de la « Course Contrecœur »
M16

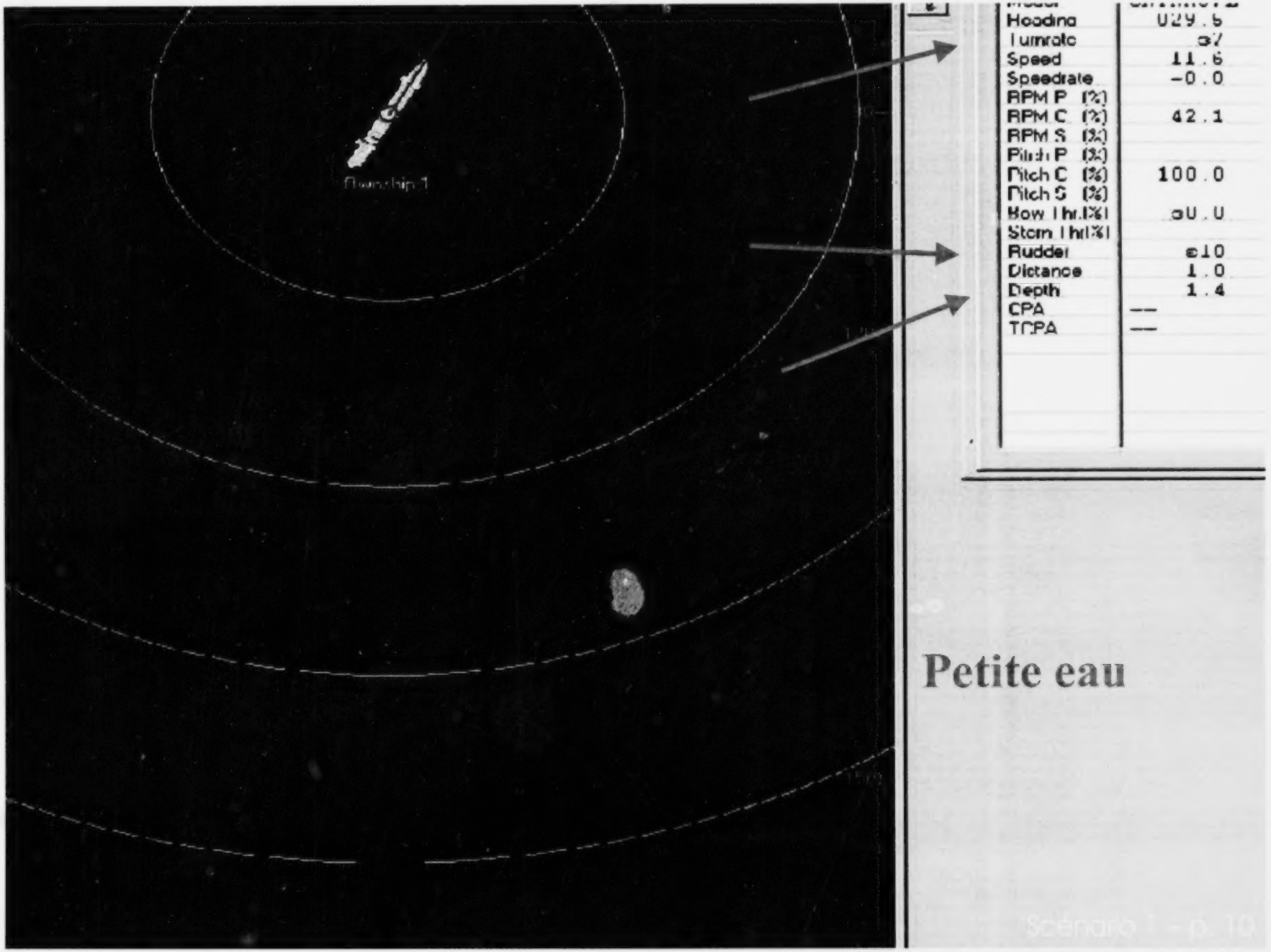

Ordre de barre
by M16
207.0 deg
by M17
Fl(1)G 4s
033 deg
by M20
Q(1)R 1s
1.5 kn
1.0 kn
183 deg
Fl(1)G 4s

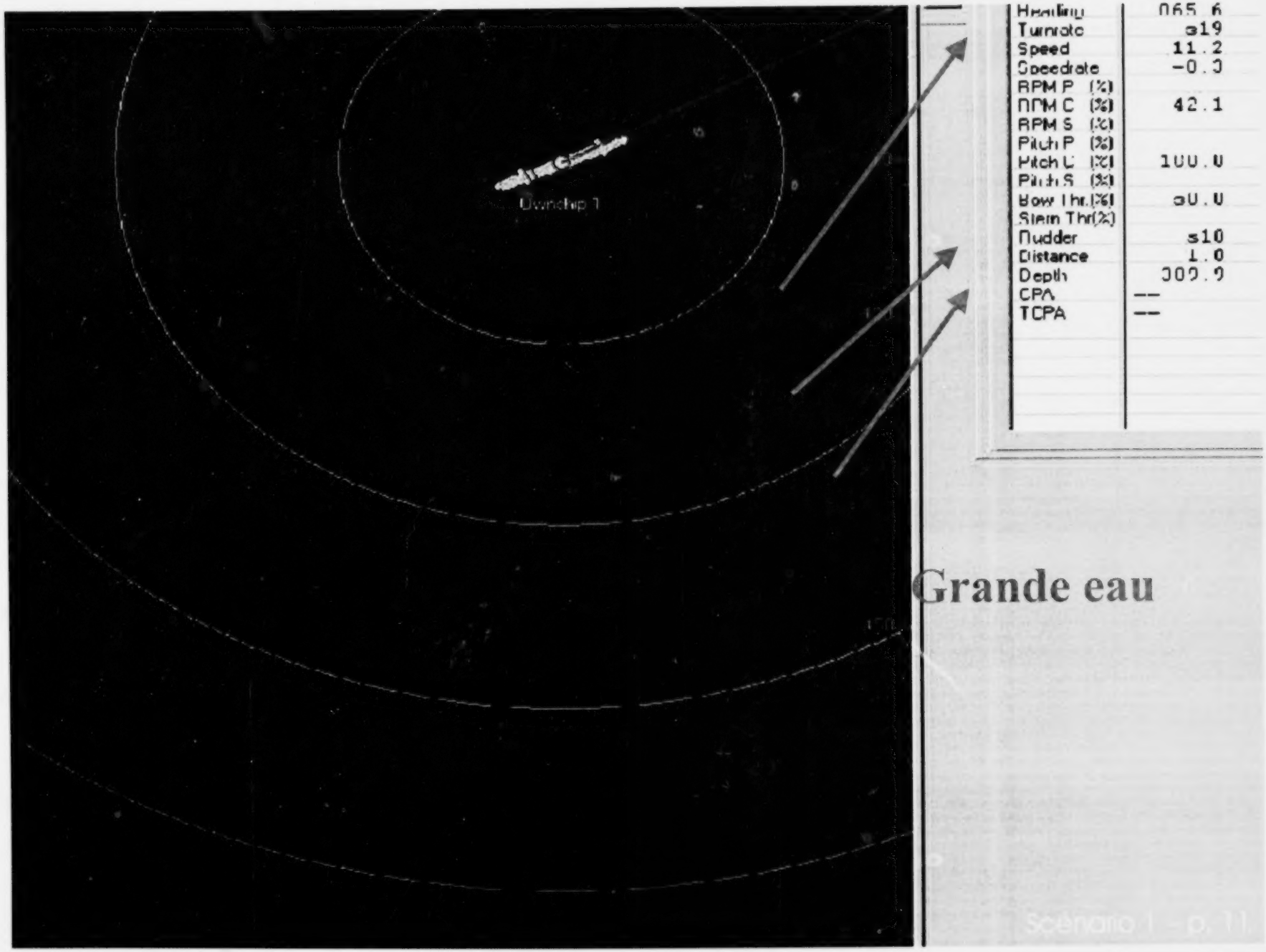
- Le timonier met la barre à 10° tribord et attend d'atteindre le taux prévu de 10°/m.

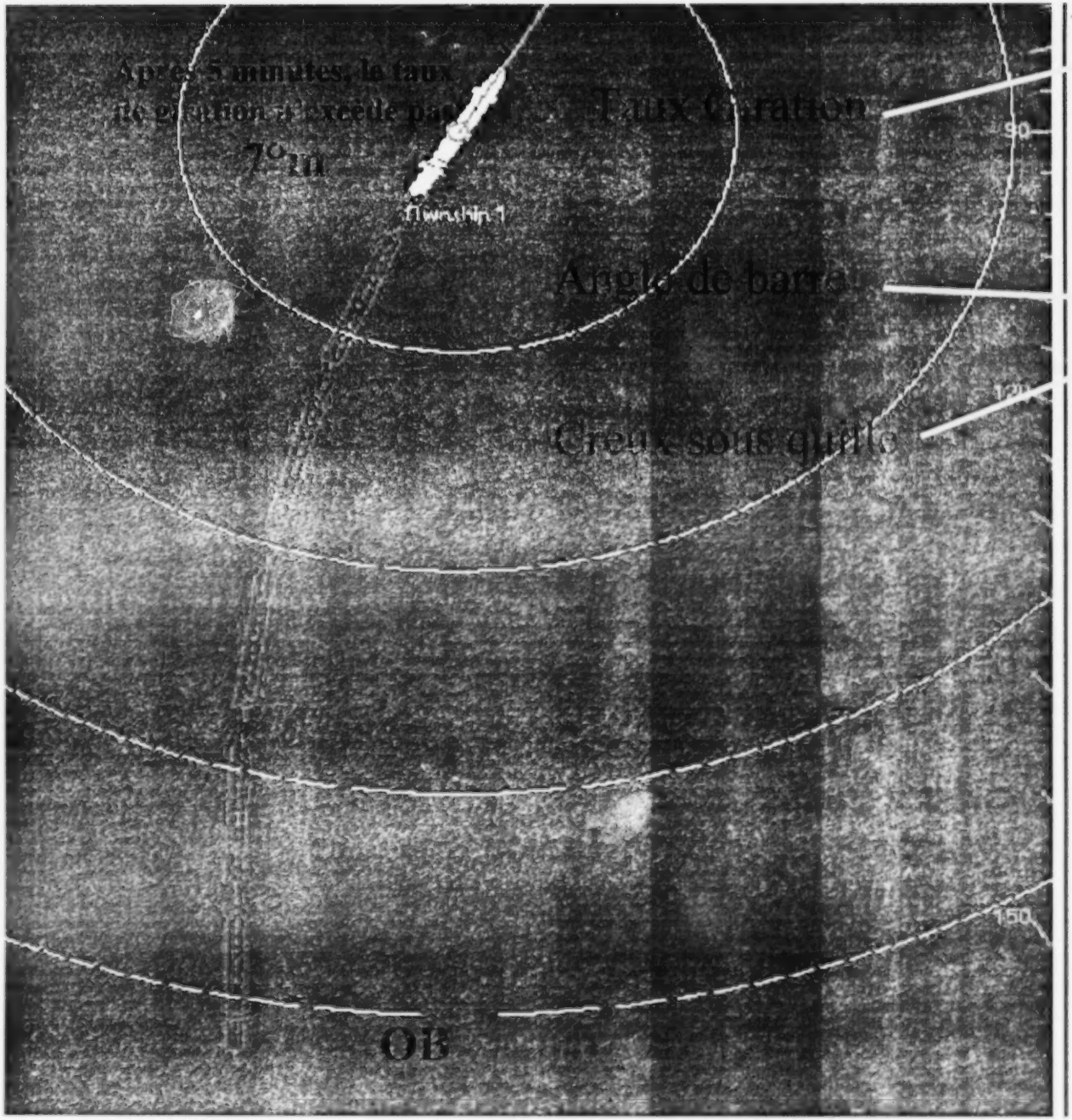
- Selon les essais sur simulateur en eaux profondes, le taux de giration de 10°/m est atteint après 1 ½ longueur de navire, et il est maintenu en tenant la barre entre 5° et 6° tribord.

- La profondeur sous la quille est d'environ 1,2 m (surenfoncement estimé pris en considération).

ROBERT
HAMELIN
& associés


Flagship 1
Heading 029.6
Turnrate 07
Speed 11.6
Speedrate -0.0
RPM P (%)
RPM C (%) 42.1
RPM S (%)
Pitch P (%)
Pitch C (%) 100.0
Pitch S (%)
Bow Thr.(%) 00.0
Stern Thr.(%)
Rudder 010
Distance 1.0
Depth 1.4
CPA ---
TCPA ---
Petite eau


Ownship 1
Heading 065.6
Turnrate s19
Speed 11.2
Speedrate -0.0
RPM P (%)
RPM C (%) 42.1
RPM S (%)
Pitch P (%)
Pitch C (%) 100.0
Pitch S (%)
Bow Thr.(%) 00.0
Stern Thr(%)
Rudder s10
Distance 1.0
Depth 309.9
CPA --
TCPA --
Grande eau



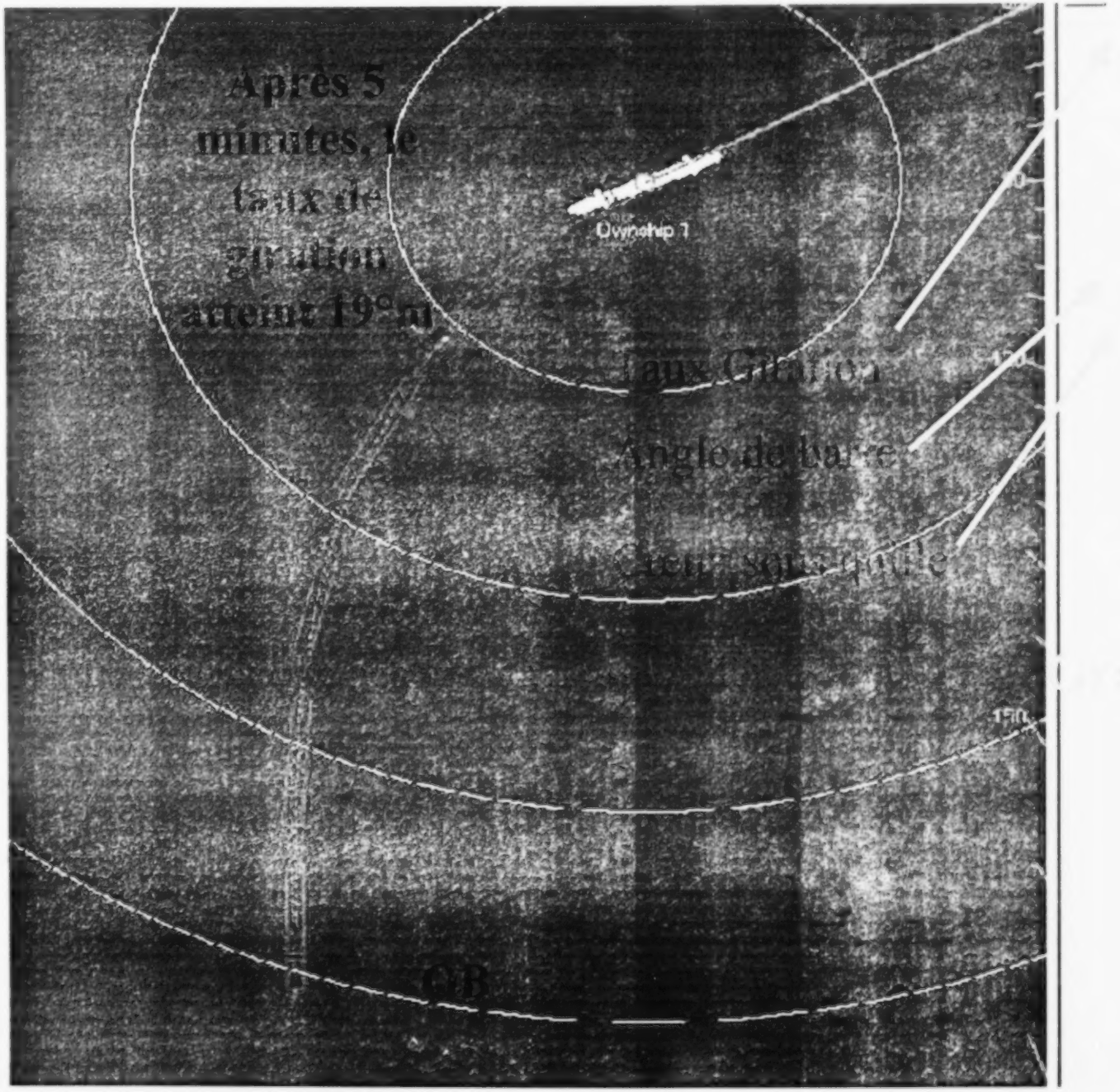
Taux d'gration

Angle de barre

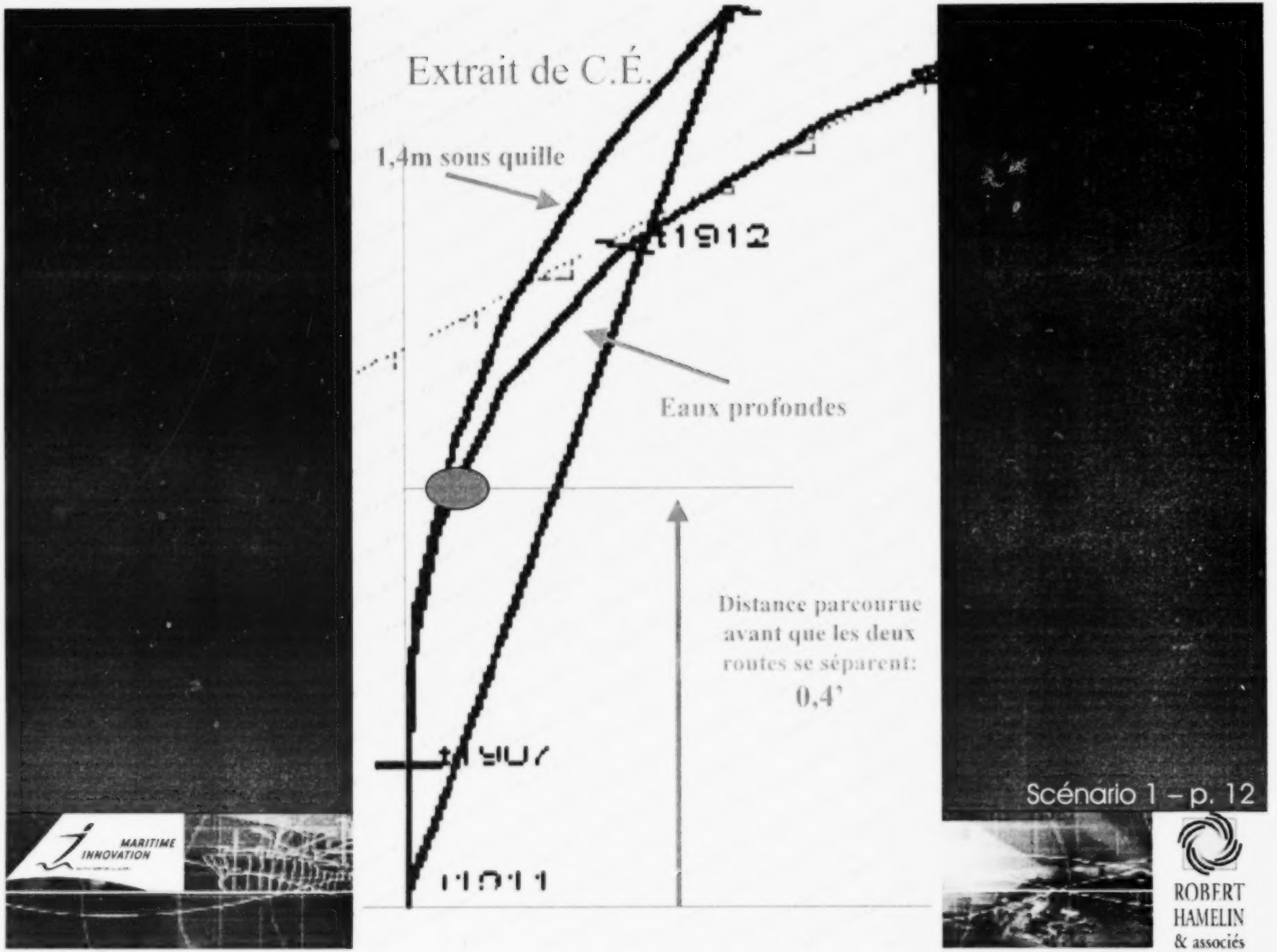
Creux sous quille

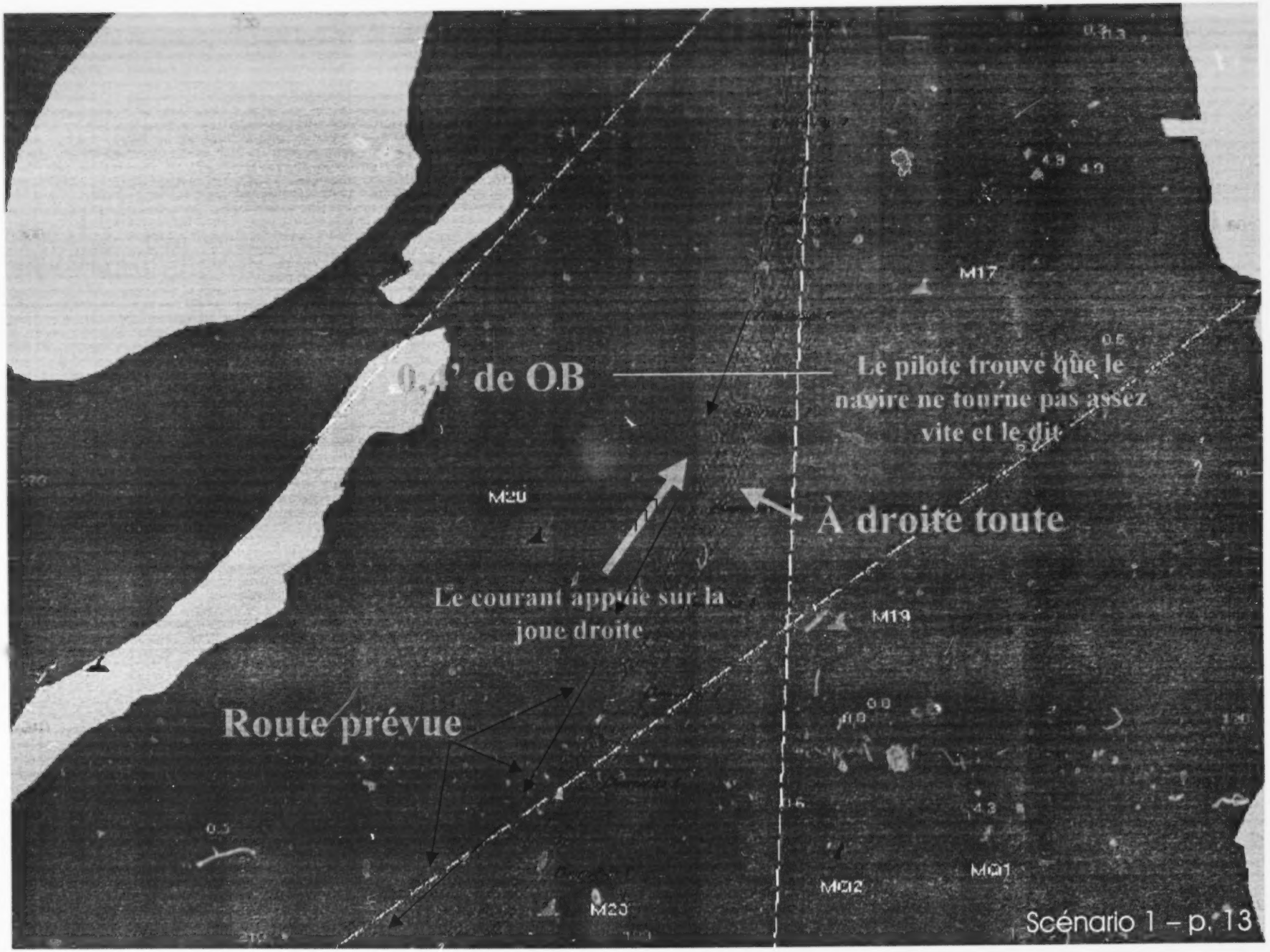
Heading	029.5
Turnrate	3.7
Speed	11.6
Speedrate	-0.0
RPM P (%)	
RPM C (%)	42.1
RPM S (%)	
Pitch P (%)	
Pitch C (%)	100.0
Pitch S (%)	
Bow Thr(%)	00.0
Stern Thr(%)	
Rudder	±10
Distance	1.0
Depth	1.4
CPA	--
TCPA	--

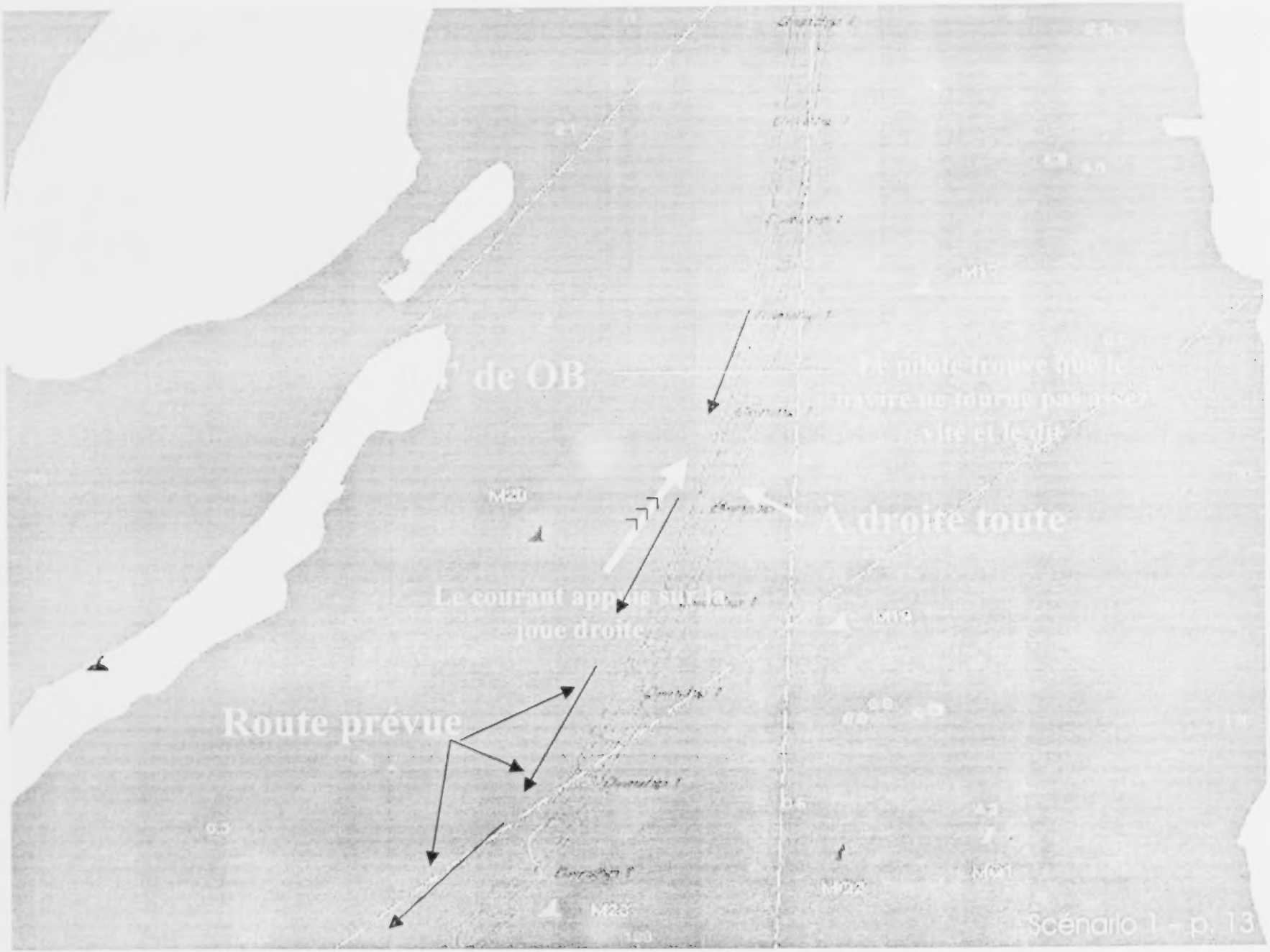
Petite carte

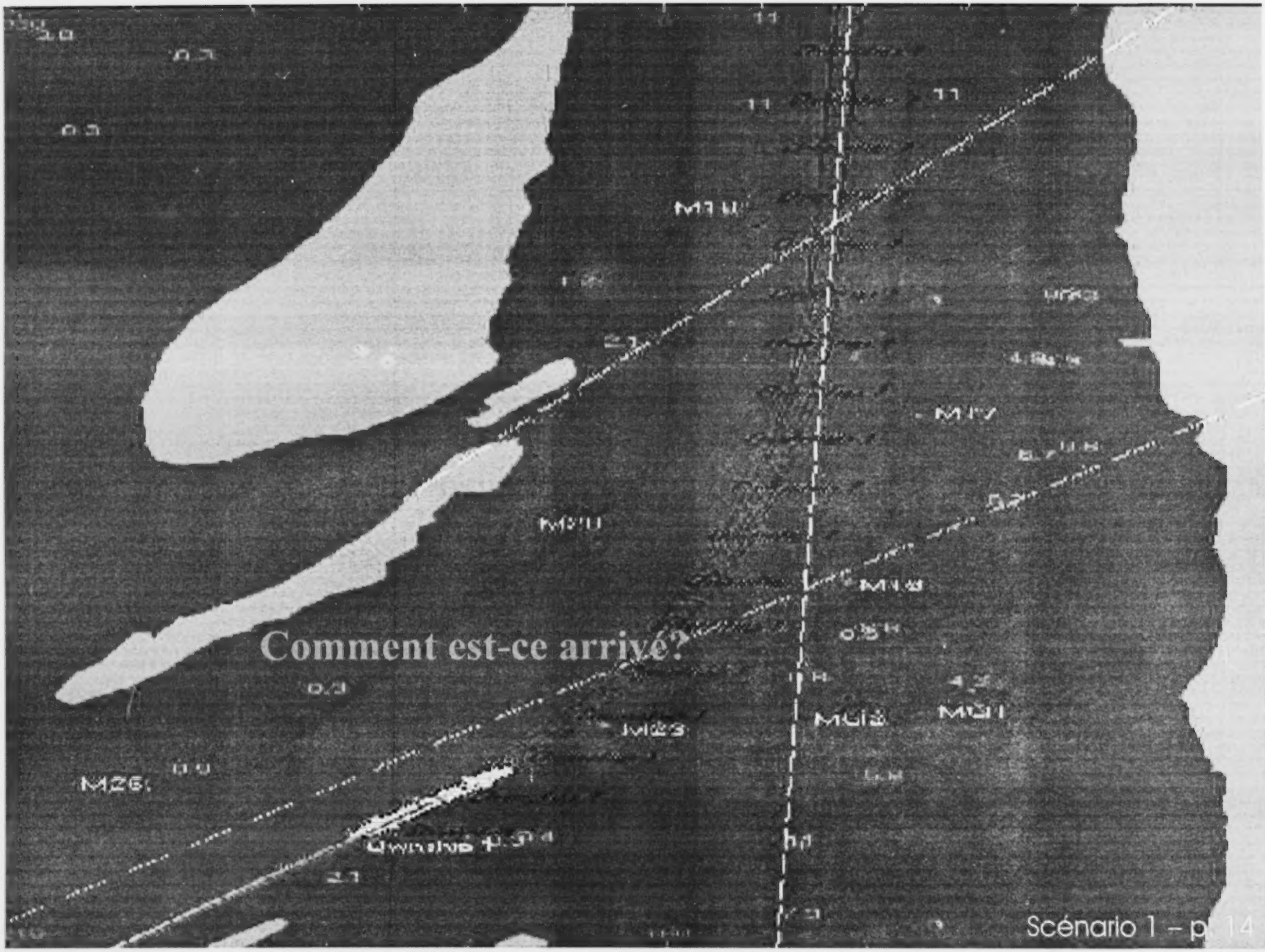


Heading	065 6
Turnrate	±19
Speed	11 2
Speedrate	-0 0
RPM P (%)	
RPM C (%)	42 1
RPM S (%)	
Pitch P (%)	
Pitch C (%)	100 0
Pitch S (%)	
Bow Thr (%)	±0 0
Stern Thr (%)	
Rudder	±10
Distance	1 0
Depth	000 0
CPA	--
TCPA	--

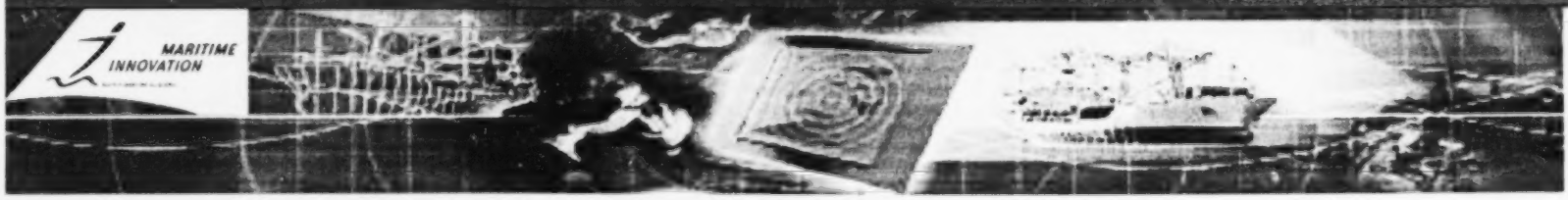

Extrait de C.É.
1,4m sous quille
1912
Eaux profondes
Distance parcourue
avant que les deux
routes se séparent:
0,4'
1907
1911
Scénario 1 – p. 12
MARITIME
INNOVATION
ROBERT
HAMELIN
& associés


0,4' de OB
Le pilote trouve que le navire ne tourne pas assez vite et le dit
À droite toute
Le courant appuie sur la joue droite
Route prévue
M17
M20
M19
M23
MQ1
MQ2


de OB
Le pilote trouve que le navire ne tourne pas assez vite et le dit
À droite toute
Le courant appuie sur la joue droite
Route prévue


Comment est-ce arrivé?

- Il y a 4 acteurs principaux sur la passerelle : capitaine/pilote/officier de quart/timonier.
- Le capitaine a imposé une méthode connue de lui seul pour négocier un passage crucial. Le résultat peut être un état d'ambiguïté à savoir QUI assure la conduite.
- Il n'a pas pris en considération le creux sous quille exigeant un plus grand angle de barre pour obtenir le taux de giration voulu. Il n'a pas pris en considération l'effet du courant sur la joue droite qui se combinerait aux effets de petite eau pour ralentir la giration.
- Il a pris un peu de temps avant de réagir suite à l'avertissement du pilote (vision entonnoir).
- Le pilote aurait dû mieux expliquer l'effet particulier du courant à cet endroit, surtout sur un très grand navire.
- L'officier de quart, même en suivant la progression du navire sur la carte électronique, n'aurait pas pu prévenir que le navire ne suivait pas la route planifiée avant que le pilote le dise, car le navire suivait cette route pendant au moins 0,35'.
- Le timonier a mis la barre 10° à droite comme à l'habitude. Il n'a pas prévenu que le taux de giration augmentait très lentement.



Quelles mesures d'atténuation peut-on envisager?

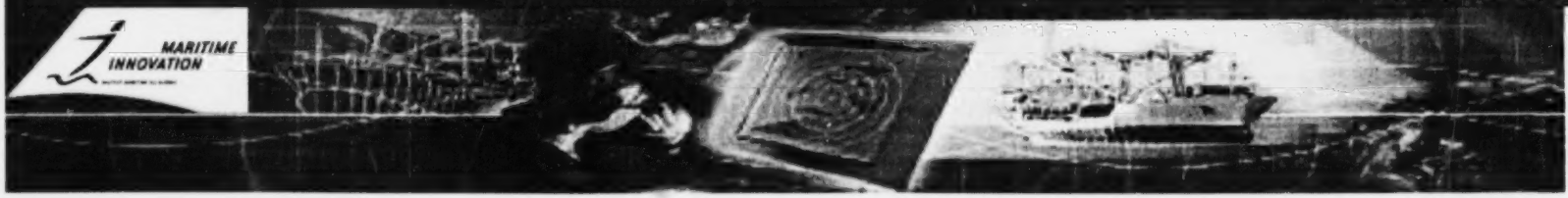
- L'affectation d'un deuxième pilote en est une :
    - Les pilotes se relèvent aux heures mais, dans les endroits critiques, le deuxième pilote doit être attentif aux faits et gestes de son confrère et du timonier.
    - Un deuxième pilote aurait pu déceler l'erreur et les mesures correctives auraient pu être prises à temps.
- Lorsque le navire est bien fourni en effectif, une bonne gestion des ressources est une autre, avec le doublement du quart par un officier qui lui ne remplirait aucune autre tâche que la surveillance des manœuvres.
- Sa seule préoccupation serait alors de s'assurer que les manœuvres entreprises sont appropriées. Par contre, aurait-il les connaissances locales nécessaires pour réagir à temps?
- Est-ce qu'il y a assez d'officiers pour faire ce genre de travail? Les officiers sont-ils assez reposés?

Tout ceci peut nous amener à nous poser la question suivante :

- Un SVCEI pourrait-il prendre la place d'une deuxième personne?

- Un SVCEI est un système qui permet de visualiser des cartes électroniques de navigation de format S-57 sur un écran de dimensions réglementaires.

- Nous devons retenir qu'un SVCEI utilisé en remplacement des cartes papier et conformément à toutes les dispositions des normes de fonctionnement de l'OMI, nécessite une surveillance constante de la part d'une personne qualifiée lorsqu'en eaux restreintes ou en eaux assujetties au pilotage.



ROBERT
HAMELIN
& associés

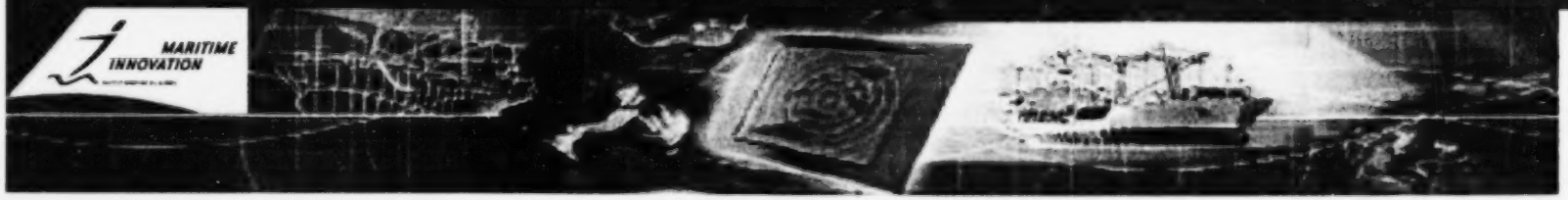
Scénario 2

Erreur de l'homme de roue

Erreur «humaine» et conséquences possibles en eaux restreintes

Scénario 2

Erreur de l'homme de roue

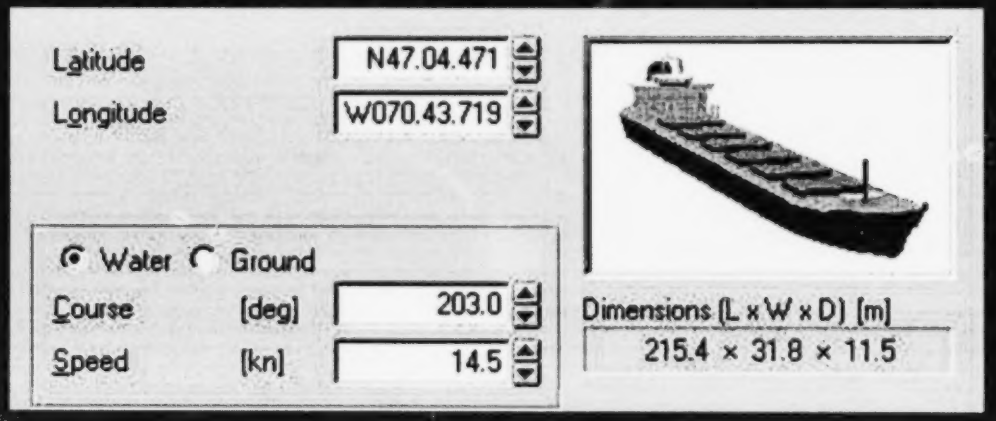


ROBERT
HAMELIN
& associés

Navire porteur : Vraquier

- Navire vraquier de 215 m
- Largeur : 32 m
- Déplacement : 60 000 mètres cubes

- Vitesse maximum avant : 16 nœuds
- Vitesse maximum arrière : 6 nœuds
- Tirant d'eau arrière : 11,5 m
- Machine : 9200 Kw



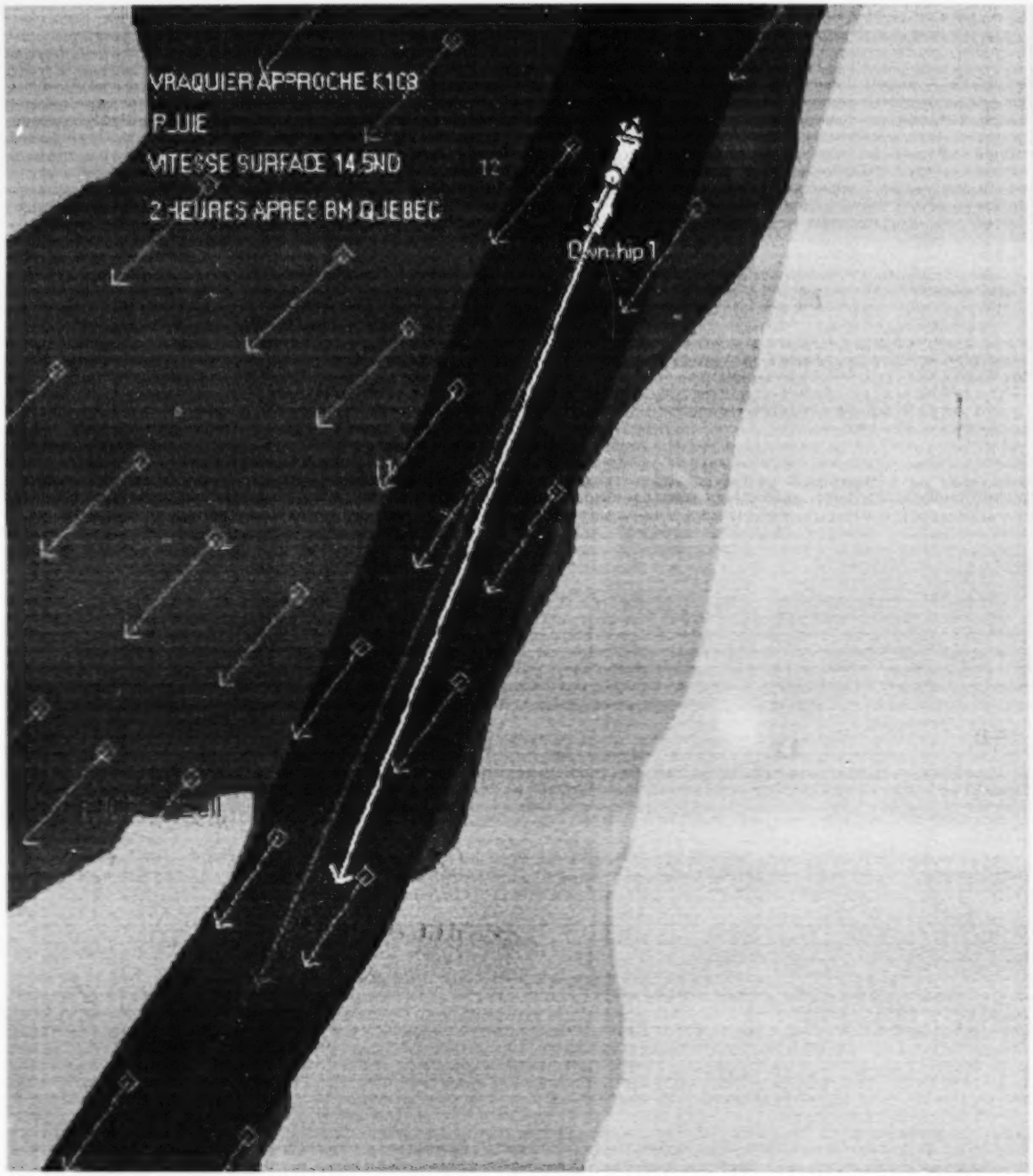
MARITIME INNOVATION

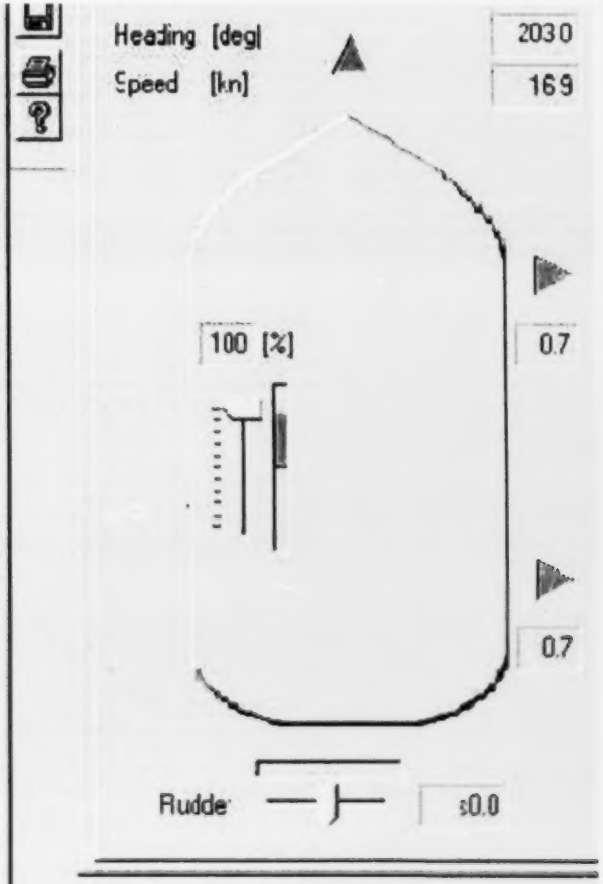
ROBERT HAMELIN & associés

Situation hypothétique

- Navire en montant à ¾ de mille de la K108
- Vitesse surface 14,5 nœuds
- Visibilité moyenne à réduite
- État de la marée : deux heures après la basse mer de Québec (courant de flot)
- Pas de navire en descendant

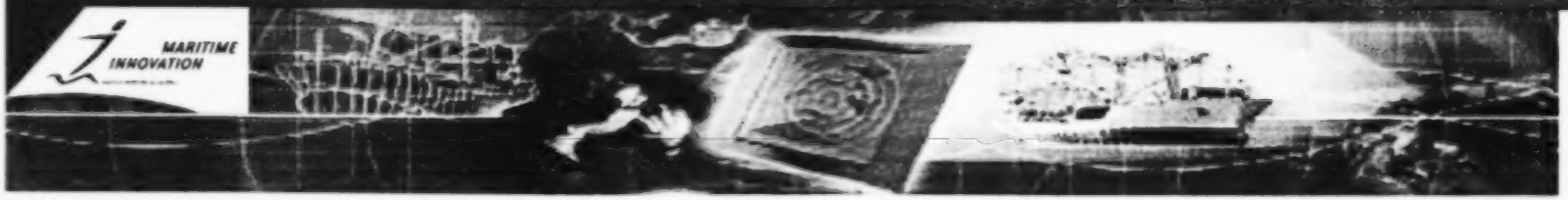
ROBERT
HAMELIN
& associés


VRAQUIER APPROCHE K1C8
PLUIE
VITESSE SURFACE 14.5ND
2 HEURES APRES BM QUEBEC
Own ship 1

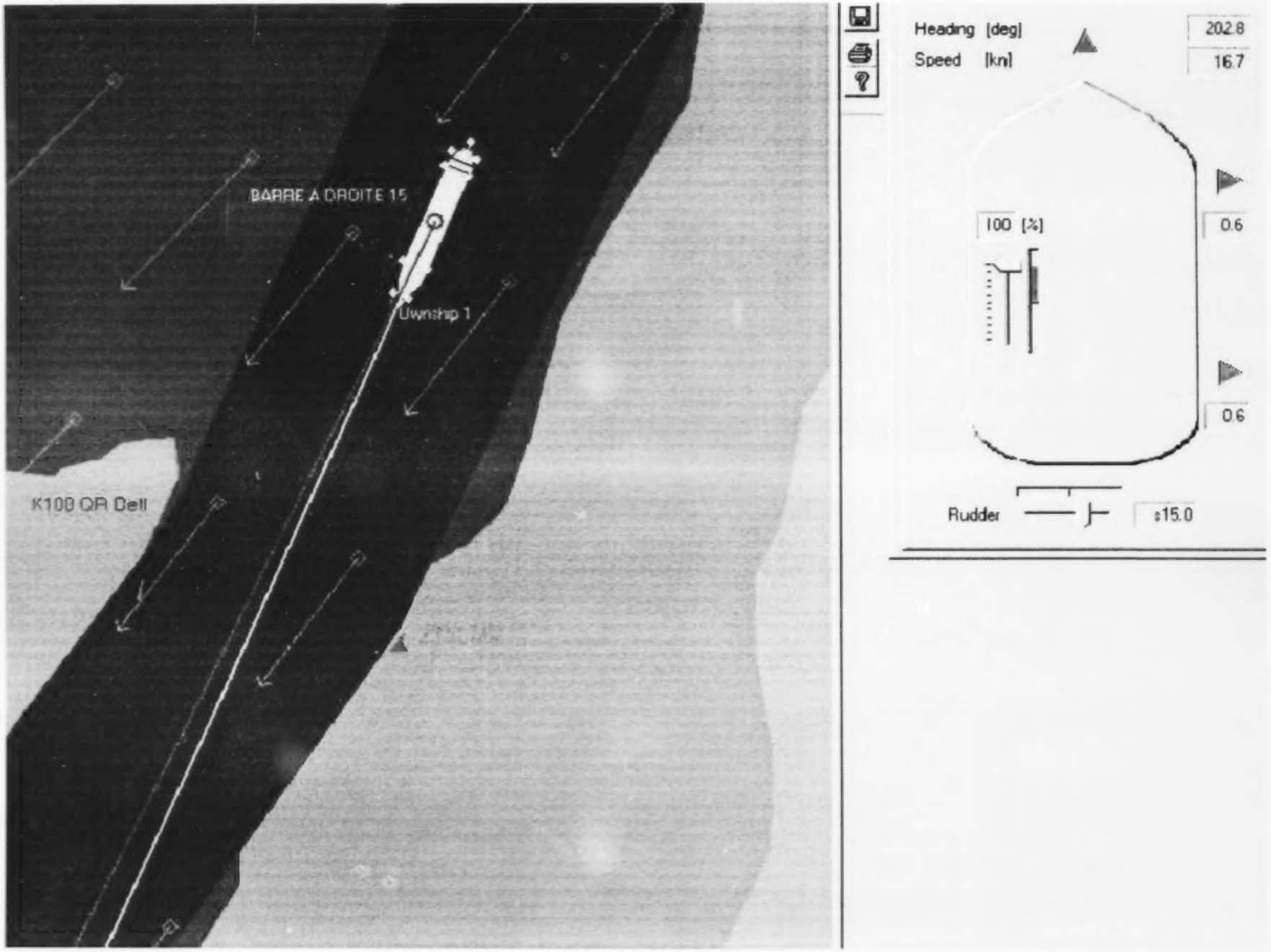

Heading [deg]
2030
Speed [kn]
169
100 [%]
0.7
0.7
Rudder
s0.0

Déroulement

- Le navire approche de la K108.
- À 0,2' du point de changement de route, le pilote ordonne le changement de 202 à 211 (route fond : 204° et 213 ½°).
- Le timonier met la barre à droite 15° pour entreprendre le changement ordonné, le pilote vérifie par un coup d'œil, l'officier de quart aussi.
- L'officier de quart prend un relèvement, deux distances radar et se dirige vers la table à cartes pour pointer la position du navire, au moment du changement de cap, et faire ses annotations dans le livre de bord (comme il se doit).



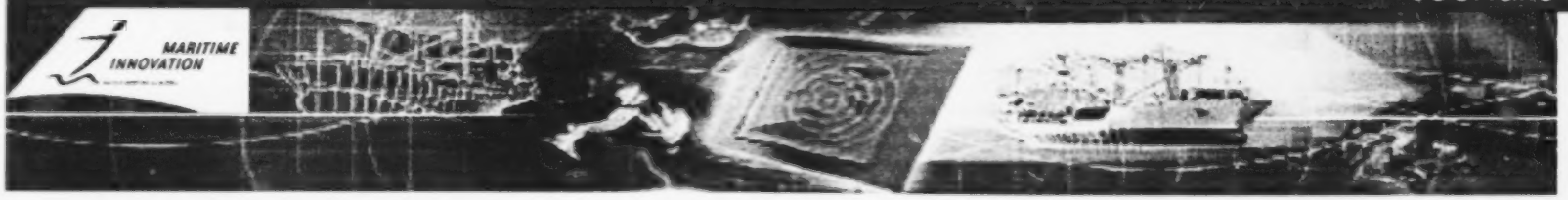
ROBERT
HAMELIN
& associés


BARRE A DROITE 15
Ownship 1
K108 QR Bell
Heading [deg]
202.8
Speed [kn]
16.7
100 [%]
0.6
0.6
Rudder
s15.0

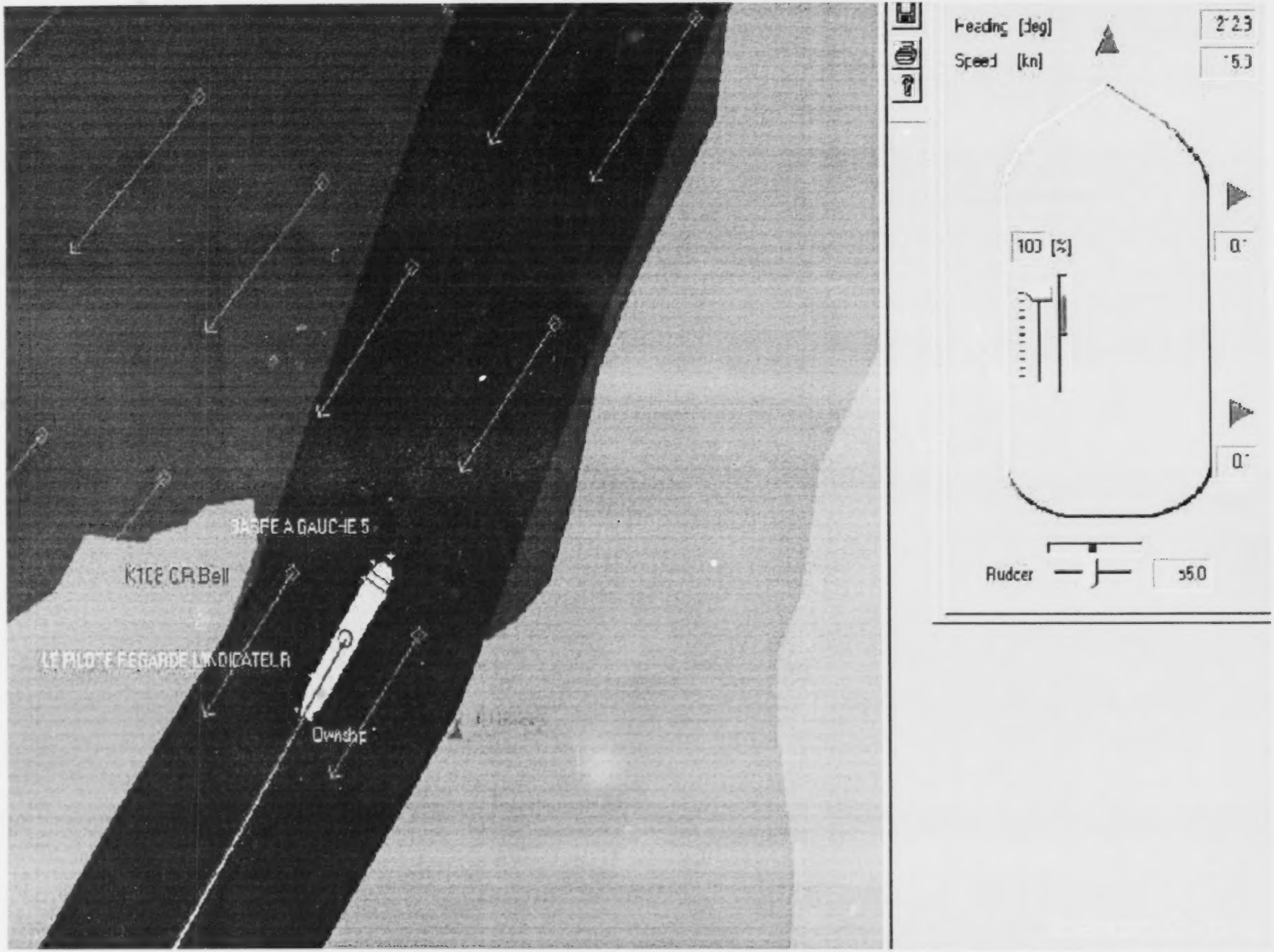
- Lorsque le navire passe sur le cap ordonné, il vire encore légèrement à droite, le timonier met la barre 5° à gauche; le pilote vérifie par un coup d'œil et voit la barre à gauche…

- La barre est mise à zéro par le timonier, mais il y a encore un peu de giration à droite…

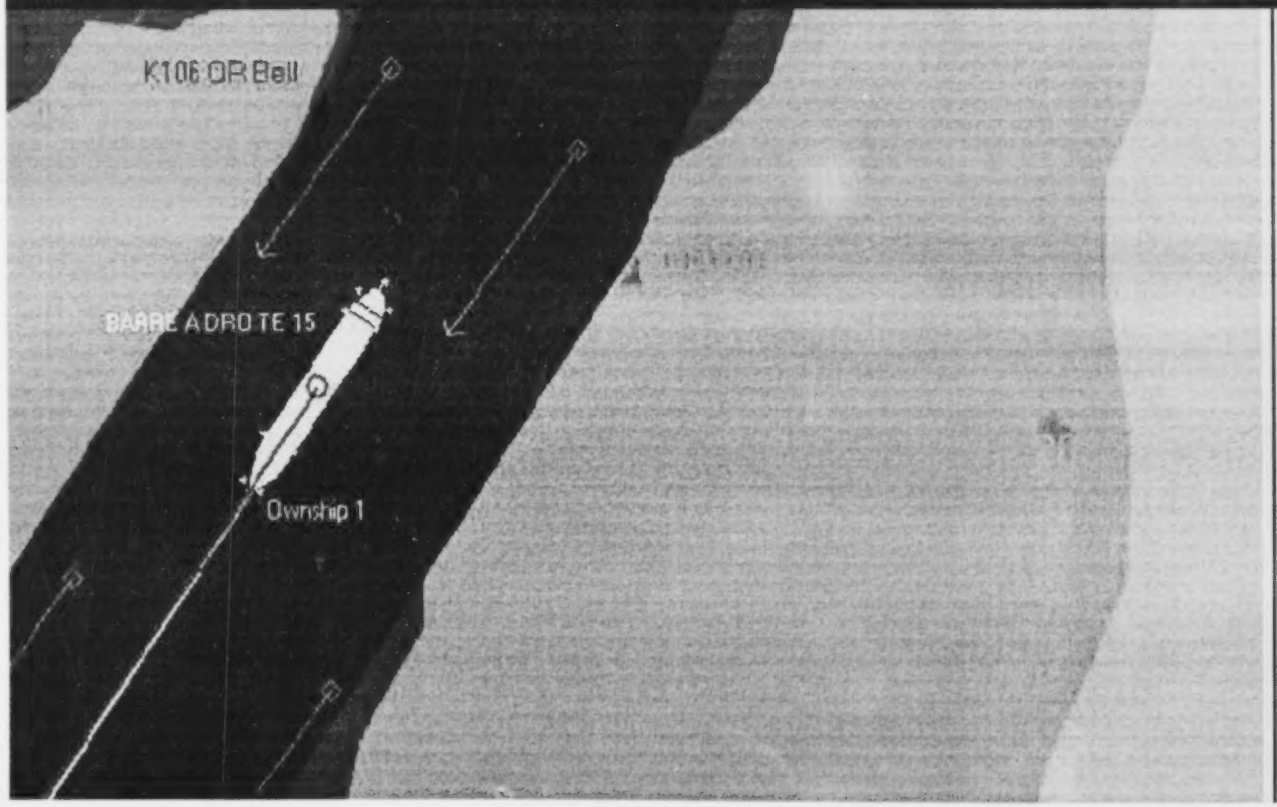
- Ne se servant que du compas, les amers visuels n'indiquent pas au timonier la giration du navire…

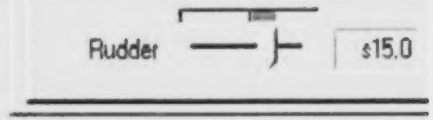


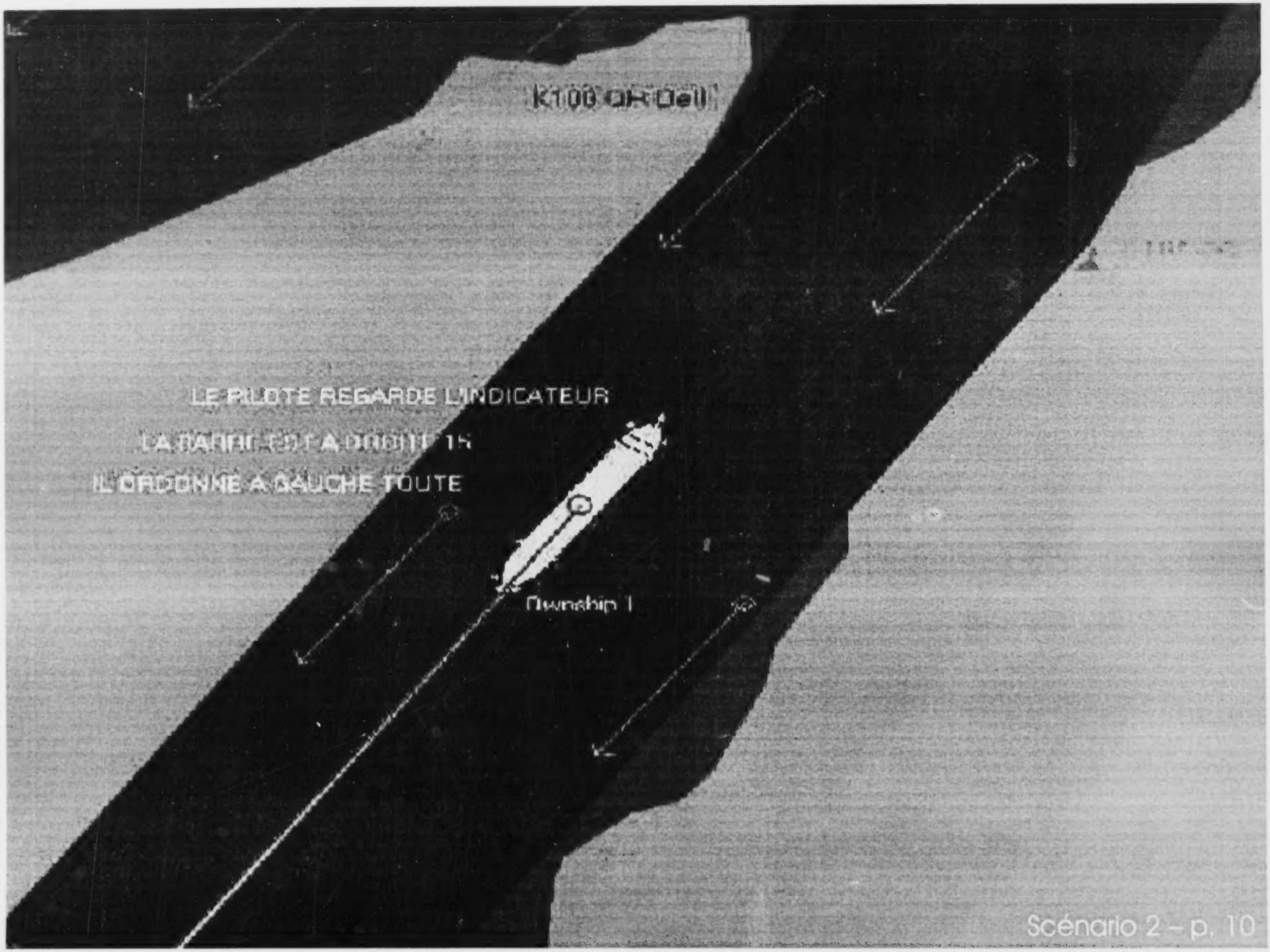
ROBERT
HAMELIN
& associés


Heading [deg]
Speed [kn]
103 [%]
Rudder
>5.0

- C'est ici qu'une erreur peut se produire : le timonier met la barre 5° à droite au lieu d'à gauche pour arrêter la giration et n'ayant pas le résultat escompté la met 15° à droite…
- Au bout de quelques secondes, le pilote s'en aperçoit et ordonne à gauche toute…
- Le résultat peut être un talonnage sur la bande Nord…






LE PILOTE REGARDE L'INDICATEUR
IL ORDONNE A GAUCHE TOUTE
Ownship 1

- Au point de changement de route, on considère le temps comme étant zéro.

- À partir du moment où le changement de route est ordonné jusqu'au moment où le navire passe le cap ordonné il s'écoule 60 secondes.

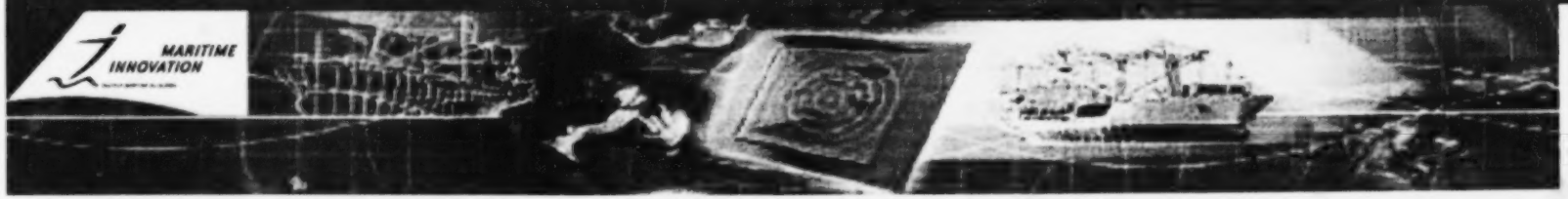
- Il s'écoule environ 10 secondes entre ce moment et le moment où la barre est mise à droite 15°. L'ordre de mettre à gauche toute arrive environ 15 secondes plus tard.

- Le navire est hors de danger 1 minute et 15 secondes après que l'ordre à gauche toute a été donné.

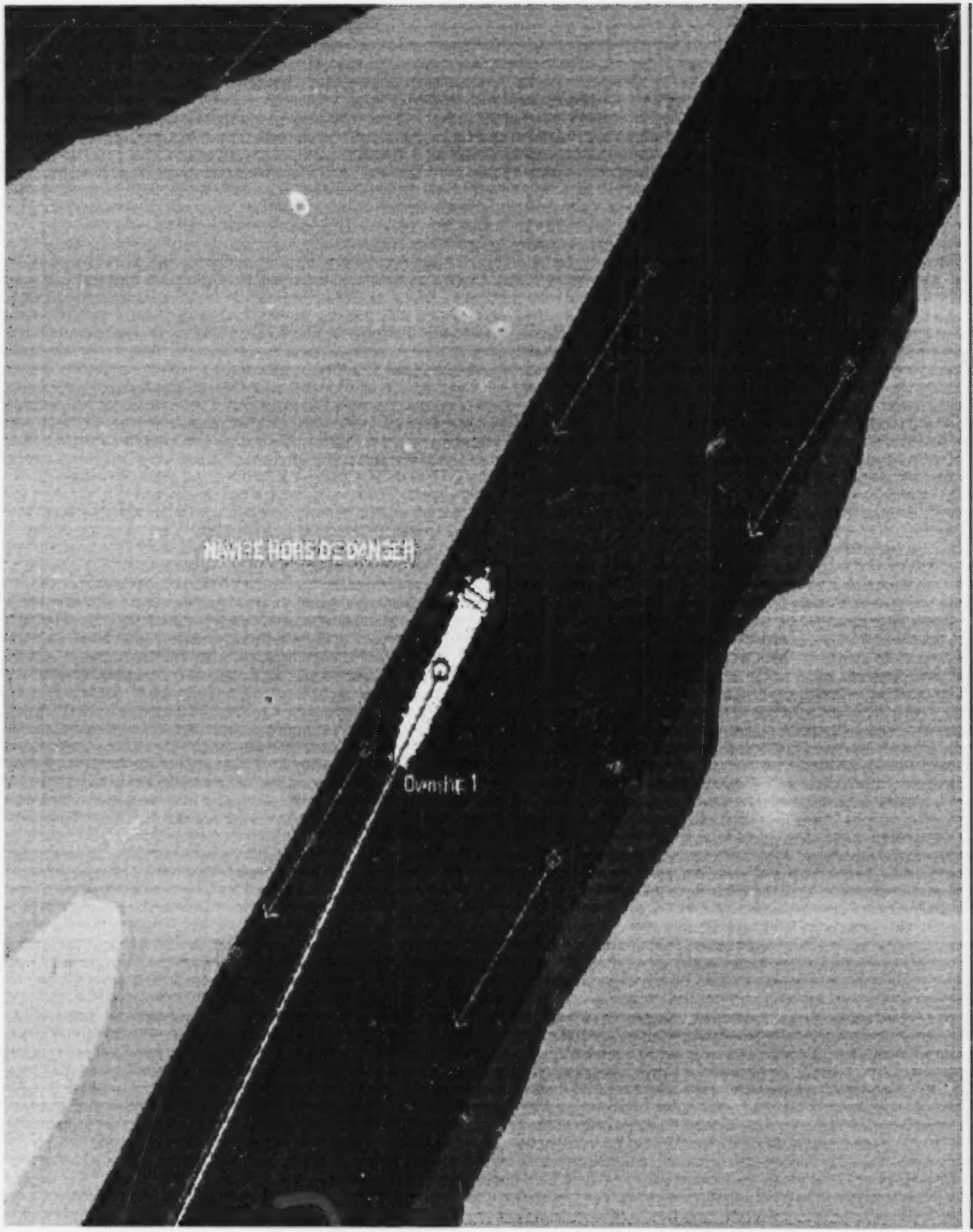
- L'arrière du navire passe à plus ou moins 100 pieds du bord du chenal.

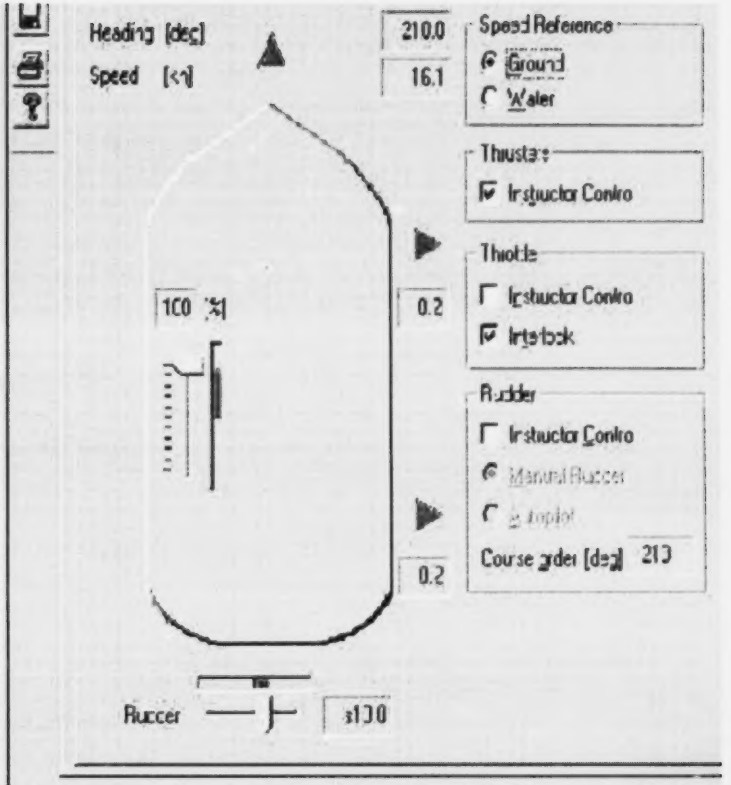
- Si la barre avait été mise à droite 20° au lieu de 15° avec le même délai de 15 secondes, le navire aurait touché le côté Nord du chenal.

- Il s'agit donc d'une question de secondes pour qu'un navire dans une telle situation s'échoue ou s'en tire.



ROBERT
HAMELIN
& associés


NAVIRE HORS DE DANGER
Overshoot 1

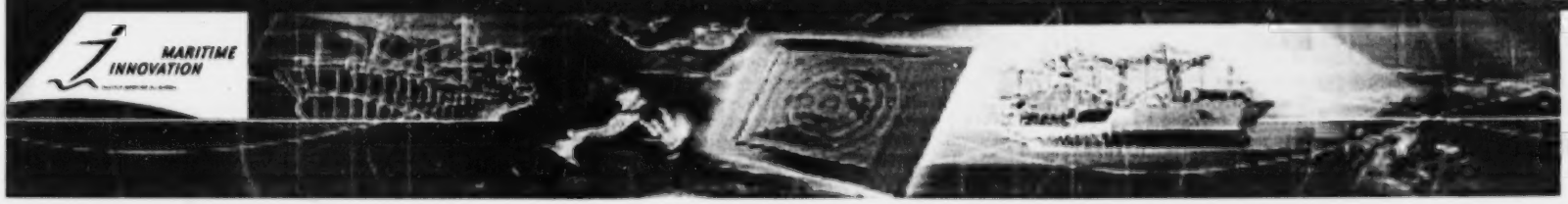

Heading [deg]
210.0
Speed [kn]
16.1
Speed Reference
Ground
Water
Thruster
Instructor Contro
Throttle
Instructor Contro
Interlock
100 [%]
0.2
0.2
Rudder
Instructor Contro
Manual Rudder
Course order [deg]
213
Rudder
s130

La pratique normale lorsque deux pilotes sont affectés à la conduite du navire est celle-ci :

- Les pilotes se relèvent aux heures mais, dans les endroits critiques, le deuxième pilote doit surveiller les faits et gestes du pilote et du timonier.

- Un deuxième pilote aurait pu voir l'erreur et les mesures correctives auraient pu être prises à temps.

- Dans le cas que nous venons de voir, le navire était sur l'alignement (024°/204°) lors du changement de route et il s'est retrouvé sur l'autre alignement (033 ½°/213 ½°) après le changement de route.



ROBERT
HAMELIN
& associés

- Pourquoi le pilote, ayant ses yeux sur le radar, ne s'en est-il pas aperçu plus tôt?

- Lorsqu'il a vu que le timonier dépassait le cap ordonné, il a jeté un coup d'œil à l'indicateur de barre et il indiquait 5° à gauche, donc du bon côté.

- La route fond est au 213 ½ °; son image radar pouvait lui donner momentanément un faux sentiment de sécurité puisque sur 213½° la ligne de foi s'alignait au milieu du chenal.

- En voyant la giration augmenter vers la droite, il a réagi rapidement pour ramener le navire sur la route.

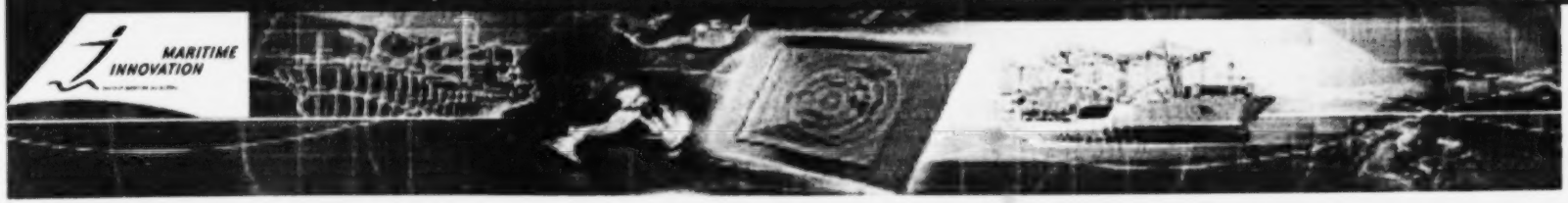
- Pourquoi l'officier de quart ne s'est pas aperçu de la situation à temps?
  - Simplement à cause des tâches cumulatives de cette personne et de son manque de connaissances locales.

- L'officier doit pointer la position du navire à intervalles réguliers, AVANT un changement de cap et immédiatement APRÈS et il doit aussi faire les annotations appropriées dans le livre de bord.

- Il doit surveiller le timonier, communiquer avec la vigie, surveiller le trafic, faire les communications radio, répondre aux appels de la compagnie, etc.

- Toutes ces tâches prennent inévitablement du temps «séparé» qui pourrait autrement être utilisé pour la veille.

- En eaux de cabotage, l'officier peut s'acquitter de ces tâches de façon sécuritaire tout en faisant une veille adéquate, mais pas en eaux de pilotage.



Il existe des mécanismes qui permettent de minimiser les risques associés à ce genre de situation.

- L'affectation d'un deuxième pilote en est un.
- Lorsque le navire est bien fourni en effectif, une bonne gestion des ressources en est un autre. Cette bonne gestion pourrait consister à doubler le quart par un officier qui lui ne remplirait aucune autre tâche que la surveillance de manœuvres.
- Sa seule préoccupation serait alors de s'assurer que les manœuvres entreprises sont appropriées. Par contre, aurait-il les connaissances locales nécessaires pour réagir à temps?
- Est-ce qu'il y a assez d'officiers pour faire ce genre de travail? Les officiers sont-ils assez reposés?

- S'il y avait du trafic en descendant, la même situation aurait pu se solder par un échouement puisque le porteur aurait été nettement au Nord de la route indiquée.

- Un SVCEI pourrait-il prendre la place d'une deuxième personne?

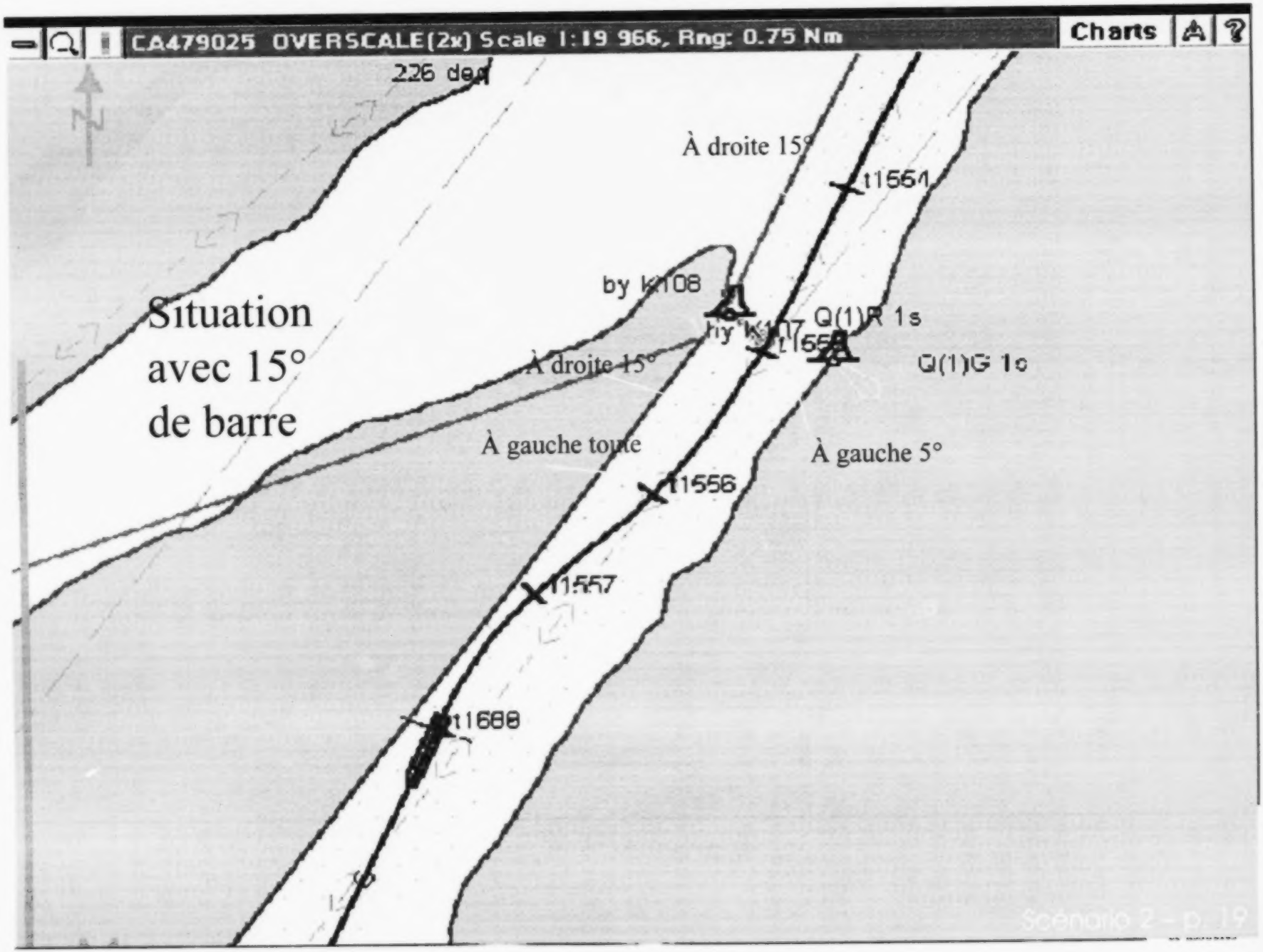
- Un SVCEI est un système qui permet de visualiser des cartes électroniques de navigation de format S-57 sur un écran de dimensions réglementaires.

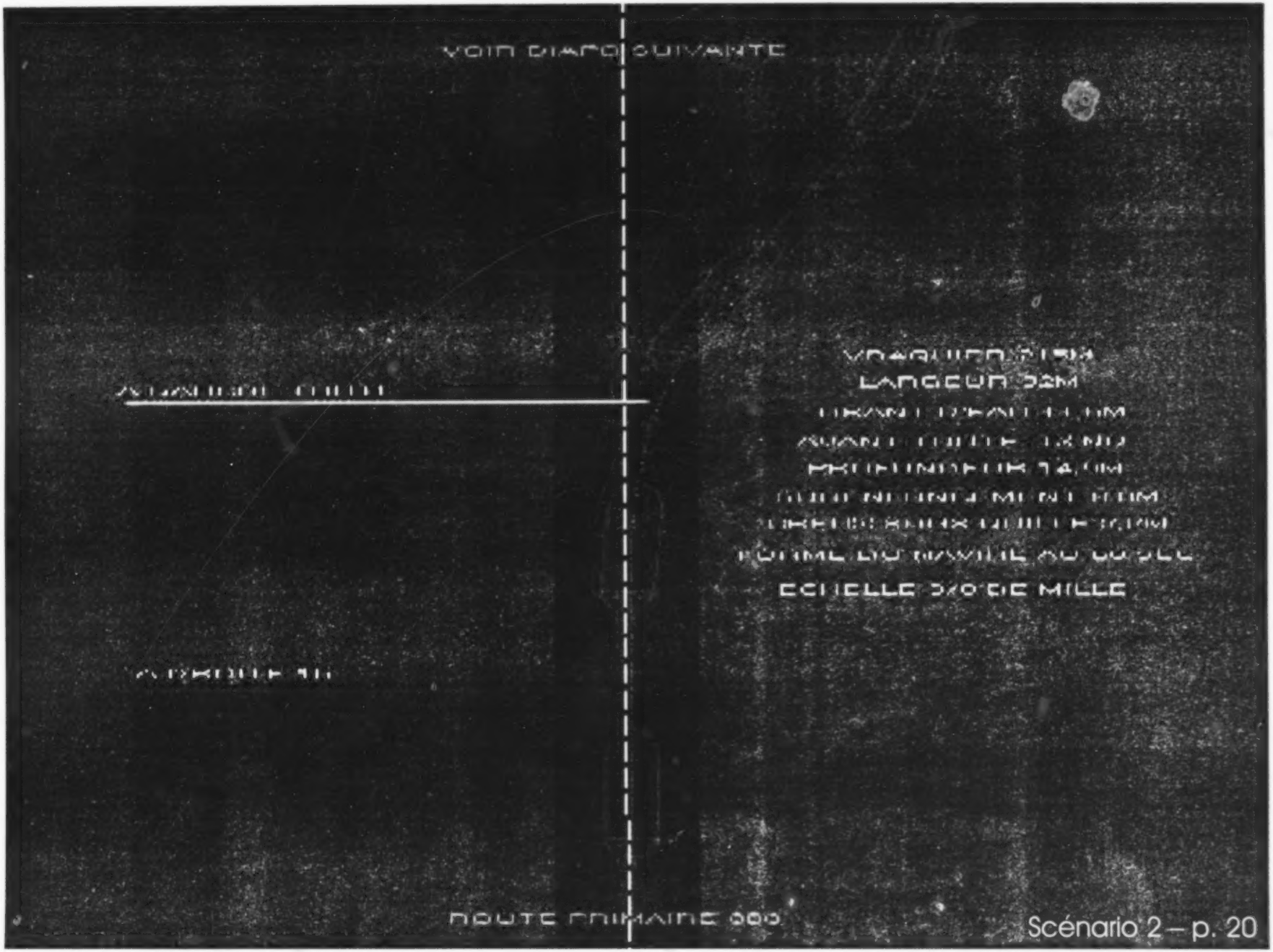
- Ce qu'il est bon de retenir c'est qu'un SVCEI utilisé en remplacement des cartes papier et conformément à toutes les dispositions des normes de fonctionnement de l'OMI, nécessite une surveillance constante de la part d'une personne qualifiée lorsqu'en eaux restreintes ou en eaux assujetties au pilotage.

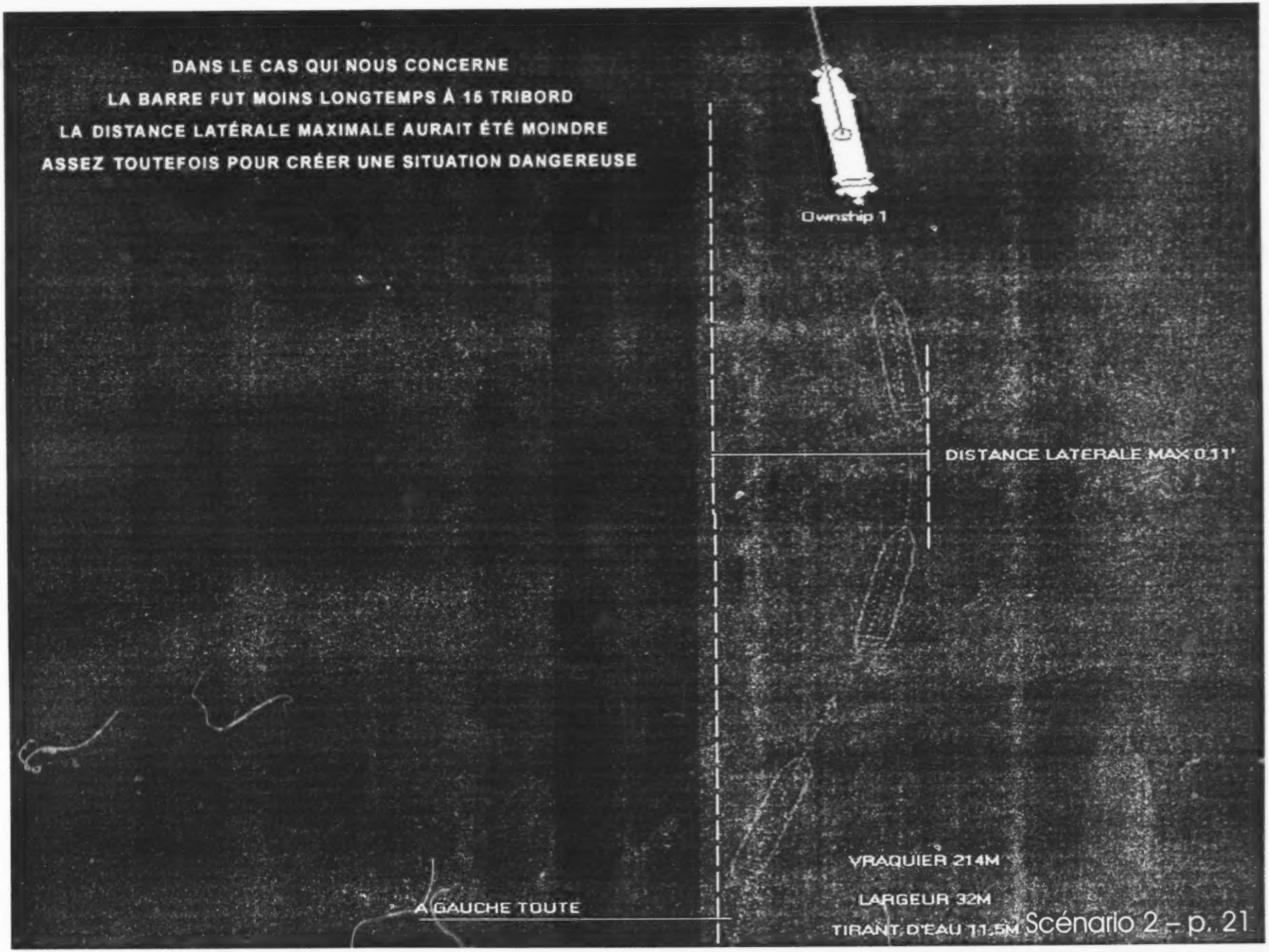
Reprenons le même scénario

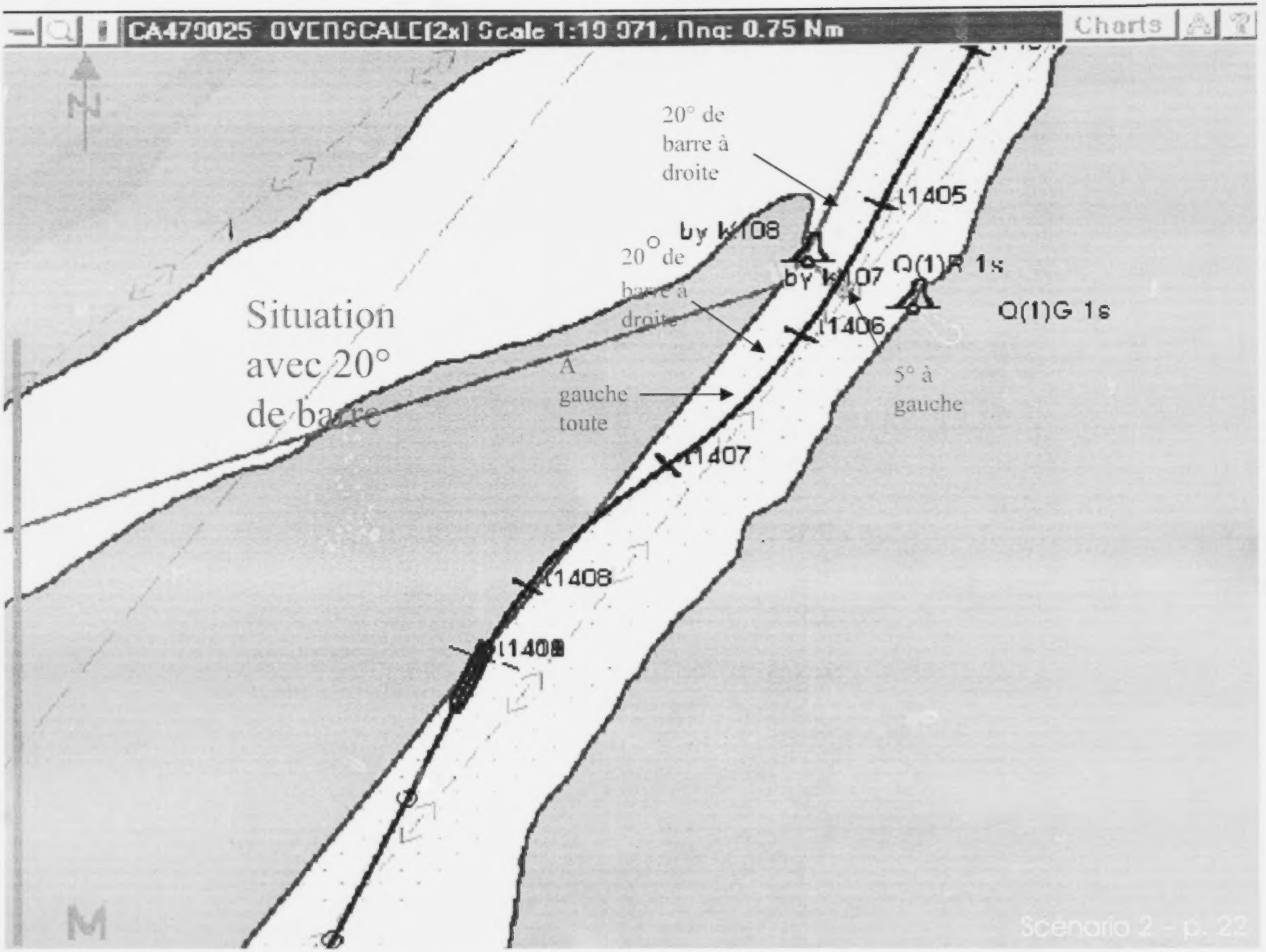
avec la barre à 15° puis à 20°

ROBERT
HAMELIN
& associés


CA479025 OVERSCALE(2x) Scale 1:19 966, Rng: 0.75 Nm
Charts
226 deg
À droite 15°
11561
by K108
Situation
avec 15°
de barre
Q(1)R 1s
Q(1)G 1c
À droite 15°
À gauche toute
À gauche 5°
11556
11557
11688


VOIR DIAPO SUIVANTE
LARGEUR 22M
ECHELLE 2/0 DE MILLE
ROUTE PRIMAIRE 903


DANS LE CAS QUI NOUS CONCERNE
LA BARRE FUT MOINS LONGTEMPS À 15 TRIBORD
LA DISTANCE LATÉRALE MAXIMALE AURAIT ÉTÉ MOINDRE
ASSEZ TOUTEFOIS POUR CRÉER UNE SITUATION DANGEREUSE
Ownship 1
DISTANCE LATERALE MAX 0.11'
VRAQUIER 214M
LARGEUR 32M
TIRANT D'EAU 11.5M
A GAUCHE TOUTE


CA479025 OVERSCALE(2x) Scale 1:19 971, Rng: 0.75 Nm
Charts
N
M
20° de barre à droite
20° de barre à droite
A gauche toute
5° à gauche
Situation avec 20° de barre
t1405
t1406
t1407
t1408
Q(1)R 1s
Q(1)G 1s

Scénario 3

Erreur de positionnement

Erreur «humaine» et conséquences possibles en eaux restreintes

Scénario 3

Erreur de positionnement

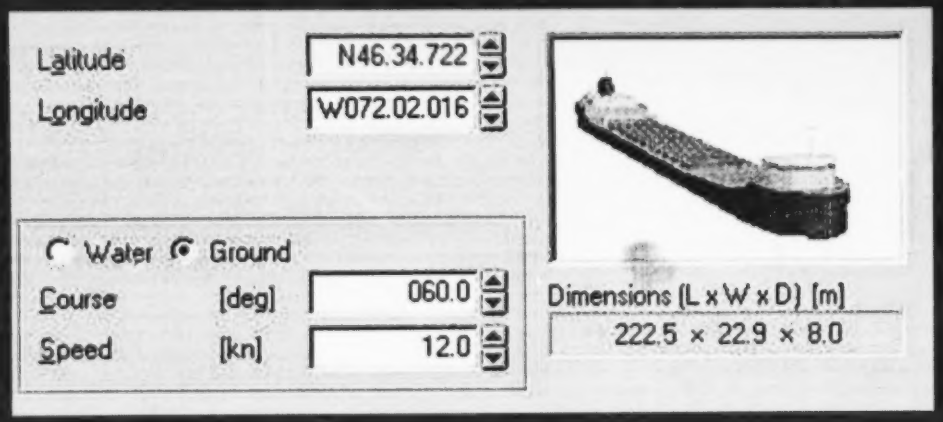
MARITIME INNOVATION

ROBERT HAMELIN & associés

Navire porteur : Vraquier

- Navire vraquier de 223 m
- Largeur : 23 m
- Déplacement : 34 000 mètres cubes

- Vitesse maximum avant : 14 nœuds
- Vitesse maximum arrière : 7 nœuds
- Machine : 5860 Kw
- Tirant d'eau avant : 8 m
- Tirant d'eau arrière : 8 m

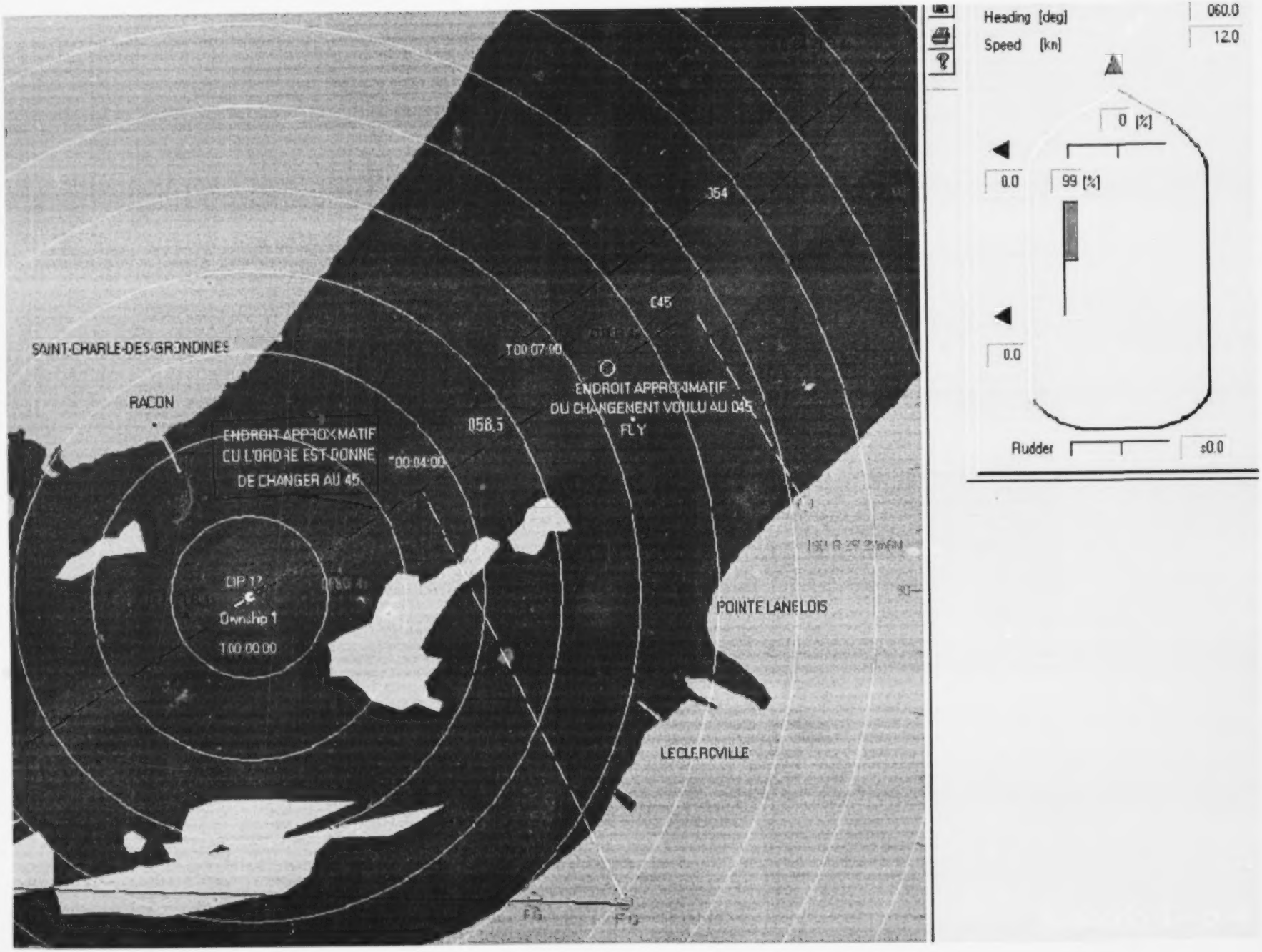


ROBERT
HAMELIN
& associés

Situation hypothétique

- Navire en descendant le fleuve Saint-Laurent au point d'appel 17, au large du quai de Grondines
- Vitesse surface 12 nœuds
- Cap au gyrocompas 060°, feux de l'alignement fermés sur l'arrière
- Bonne visibilité
- État de la marée : Étale tournant au baissant
- Pas de trafic aux environs

ROBERT
HAMELIN
& associés

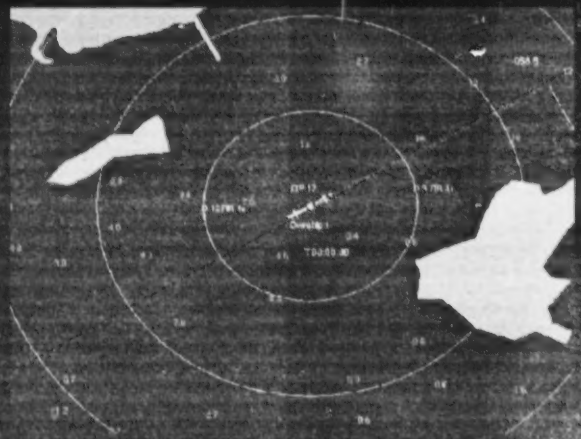

SAINT-CHARLE-DES-GRONDINES
RACON
ENDROIT APPROXIMATIF
OU L'ORDRE EST DONNE
DE CHANGER AU 45
00:04:00
058.5
354
045
00:07:00
ENDROIT APPROXIMATIF
DU CHANGEMENT VOULU AU 045
FLY
WP 12
Ownship 1
100 00 00
POINTE LANELOIS
LECLERCVILLE
Heading [deg]
060.0
Speed [kn]
12.0
0 [%]
0.0
99 [%]
0.0
Rudder
±0.0

Déroulement

- Le navire se rapporte au STM selon les procédures normales, considérons ce moment comme étant : T00:00:00

- L'officier de quart prend des relevés radar et se dirige vers la table à cartes pour tracer la position, annoter le livre de bord et inscrire l'appel dans le registre radio.

- À environ T00:04:00, le pilote ordonne un changement de cap au 045°.

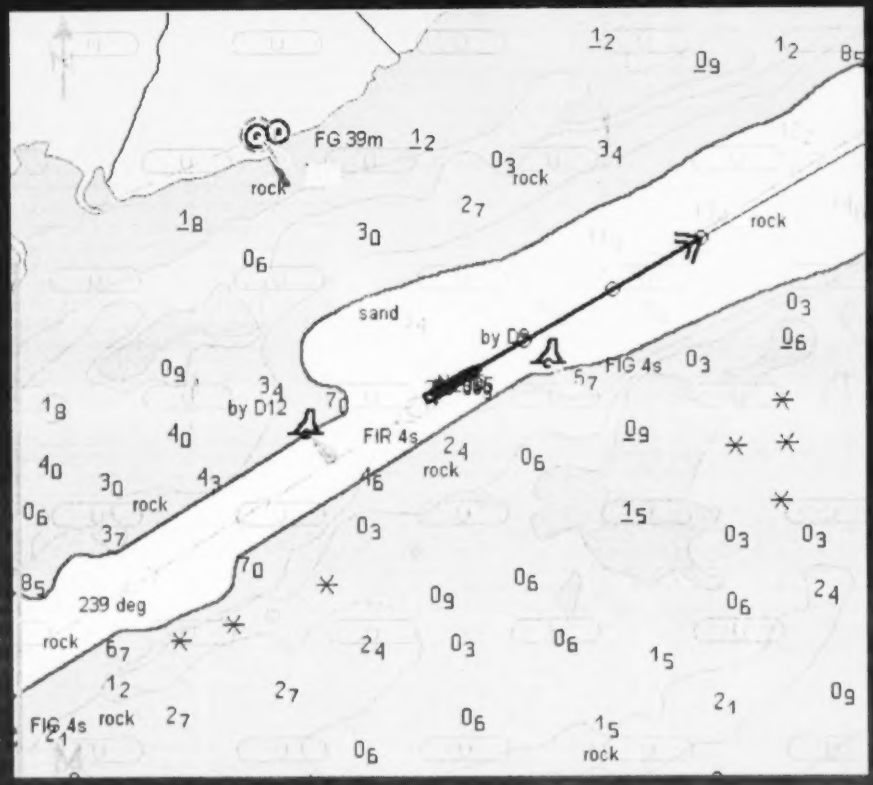


MARITIME INNOVATION

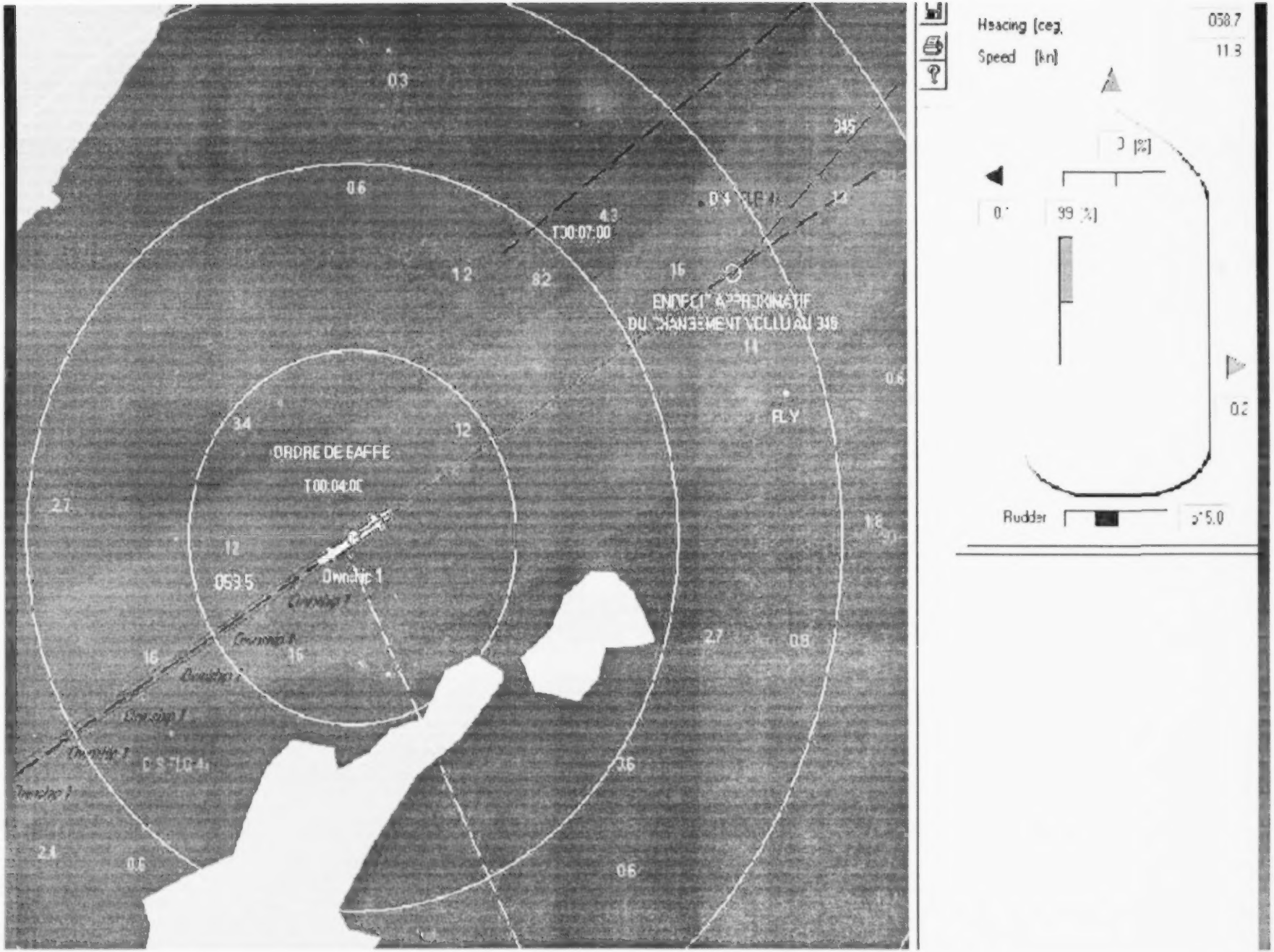
ROBERT HAMELIN & associés

C'est ici que le premier maillon de la chaîne d'erreurs se forge.

- Pour une raison quelconque, le pilote a ordonné un changement de route au mauvais endroit, en fait à environ ¾ mille avant le point de changement de route prévu.



MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés


0.3
0.6
4.3
T00:07:00
1.2
8.2
1.6
ENDROIT APPROXIMATIF
DU CHANGEMENT VOULU AU 345
1.1
0.6
3.4
1.2
ORDRE DE EAFFE
T00:04:00
2.7
1.2
053.5
Downhic 1
1.6
1.6
2.7
0.8
3.6
2.4
0.6
0.6
345
FLY
Heading (deg) 058.7
Speed (kn) 11.3
0 [%]
99 [%]
0.2
Rudder 5.0

Le deuxième maillon de la chaîne d'erreurs est en fait engendré par l'exécution des tâches obligatoires de l'officier de quart.

- L'officier reprend le même scénario qu'il a exécuté quelques minutes avant, c'est à dire :
  - Il prend des relevés radar et se dirige vers la table à cartes pour tracer la position, annoter le livre de bord et inscrire l'appel dans le registre radio.
- Le temps d'exécution de ces tâches de routine prend environ 2,5 minutes (vérifiable).
- Lorsque l'officier assure de nouveau la veille, le navire n'est plus du tout à la position inscrite sur la carte mais en fait, à environ ½ mille plus à l'Est de cette position.
- Dans une telle situation, l'officier n'aurait aucune chance de réagir à temps.

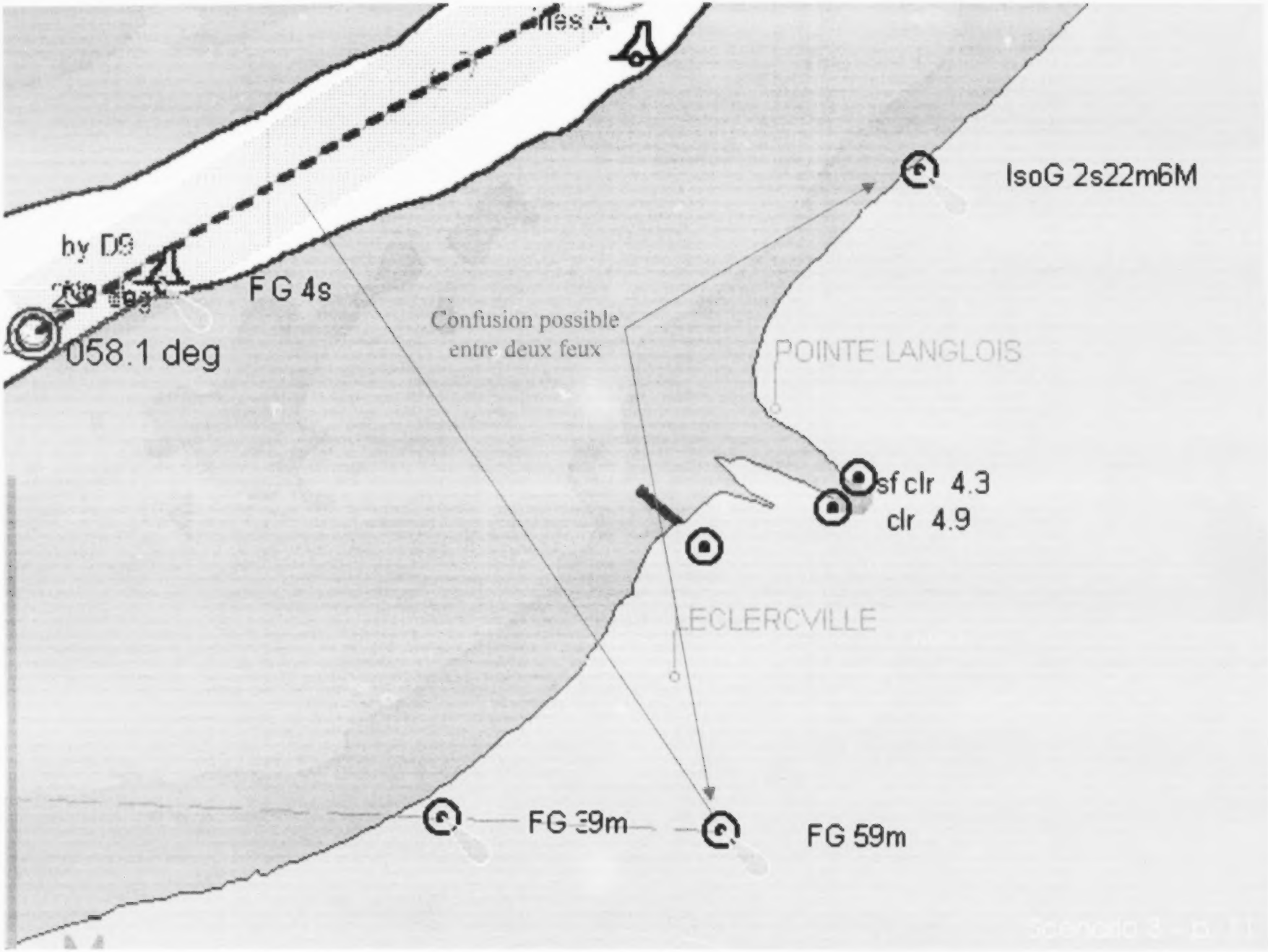
ROBERT
HAMELIN
& associés

Le troisième maillon pourrait être un état de sur confiance qui n'inciterait pas les acteurs de notre situation hypothétique à faire des vérifications de la position immédiatement après le changement de route.

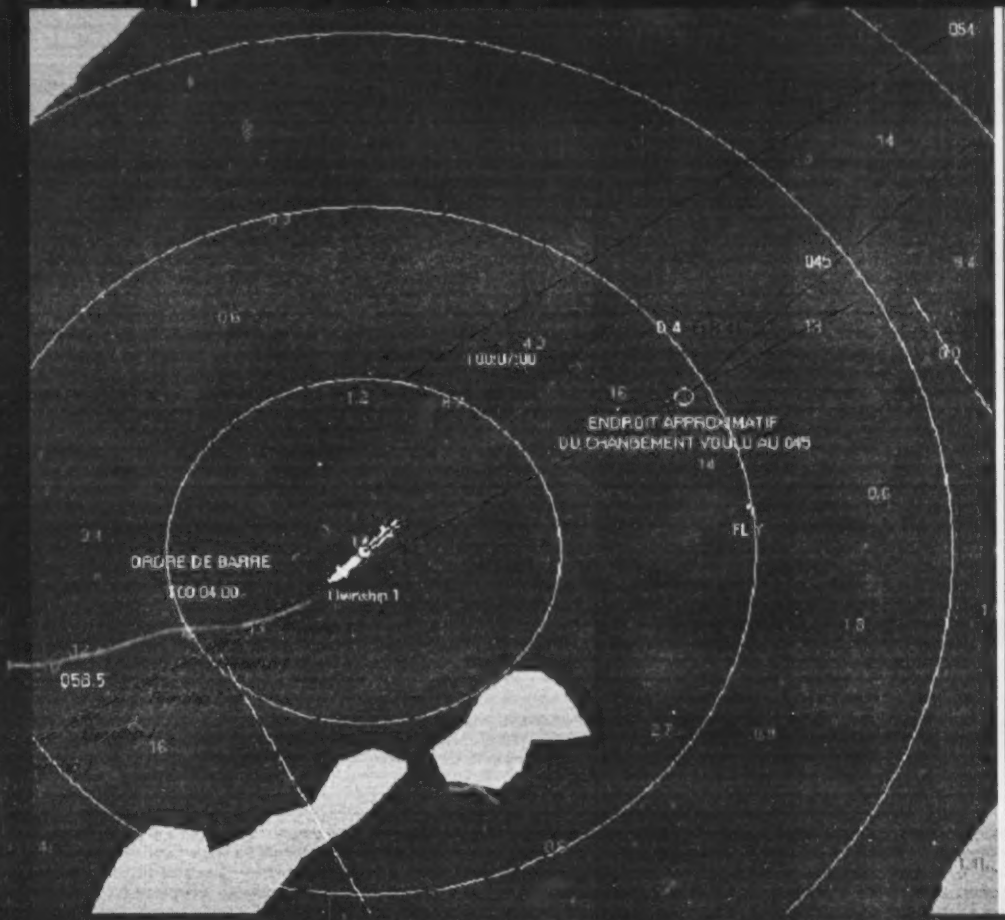
ROBERT
HAMELIN
& associés

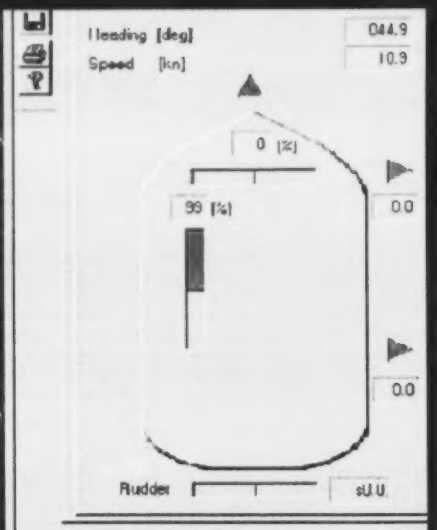
- Nous pourrions spéculer qu'une confusion momentanée entre deux feux de même couleur pourrait être la cause initiale de l'erreur.
- Si nous regardons l'extrait de carte qui suit, nous pouvons voir que les deux feux sont verts.
- Toutefois, ils ont des caractéristiques différentes.
- Par contre, un coup d'œil rapide pourrait induire en erreur la personne qui jette ce coup d'œil.
- Les caractéristiques du premier sont : FG.
- Les caractéristiques du deuxième sont : IsoG 2s.
- La fatigue peut être un élément aggravant dans un tel cas.

ROBERT
HAMELIN
& associés


Iles A
by D9
FG 4s
058.1 deg
Confusion possible
entre deux feux
IsoG 2s22m6M
POINTE LANGLOIS
sf clr 4.3
clr 4.9
LECLERCVILLE
FG 59m
FG 59m

Continuons avec notre scénario et regardons le déplacement hypothétique du navire.

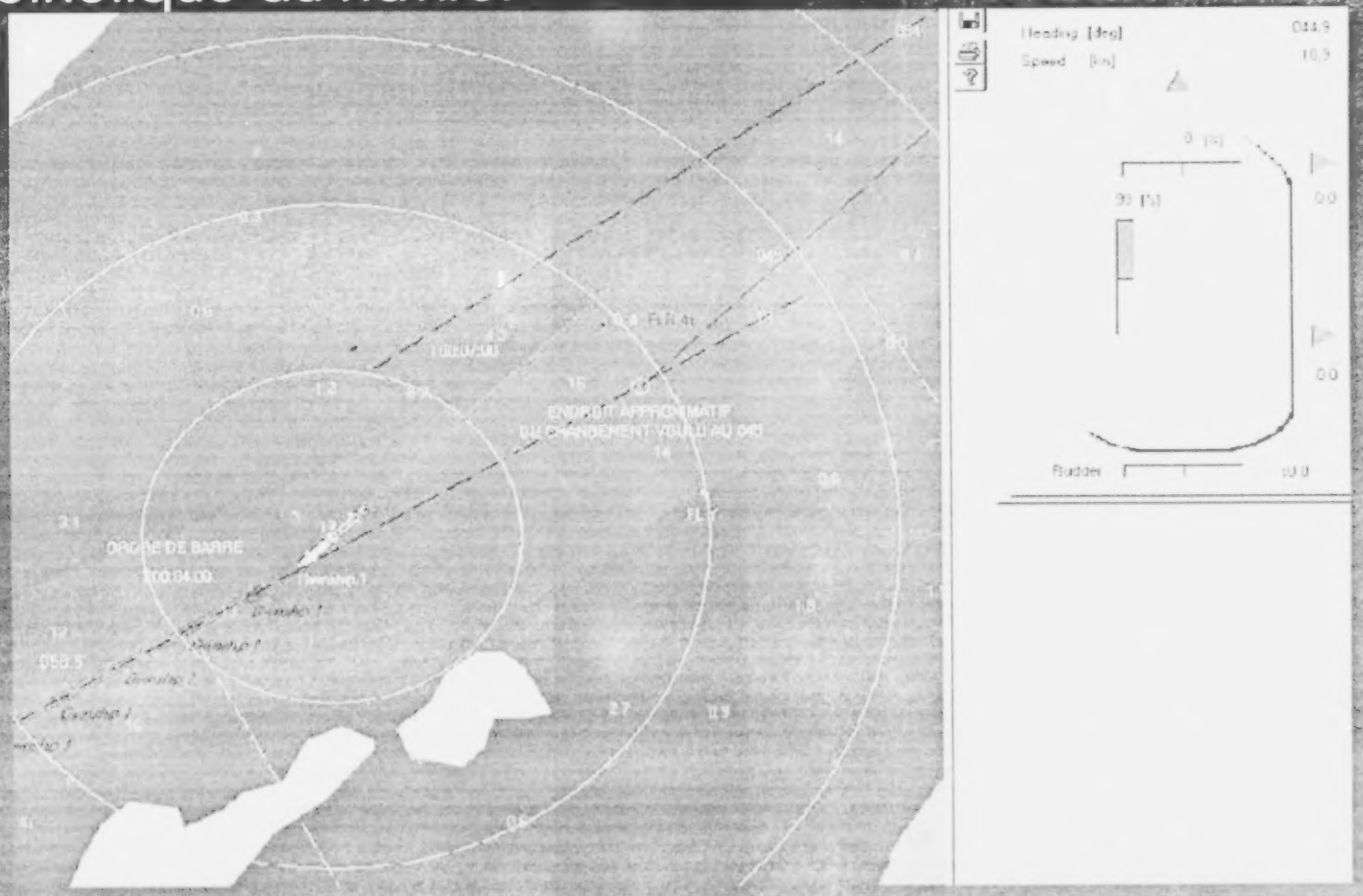




MARITIME INNOVATION

ROBERT HAMELIN & associés

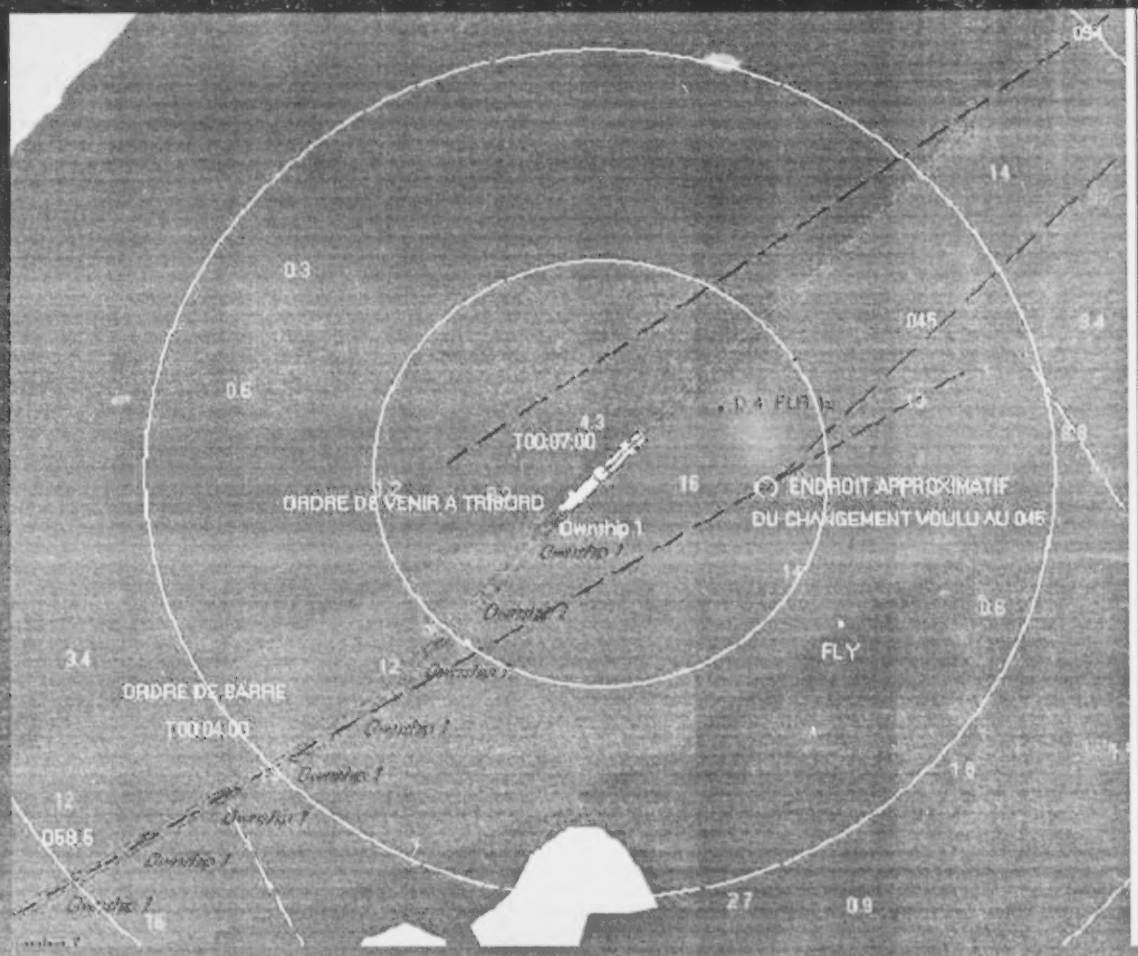
Continuons avec notre scénario et regardons le déplacement hypothétique du navire.

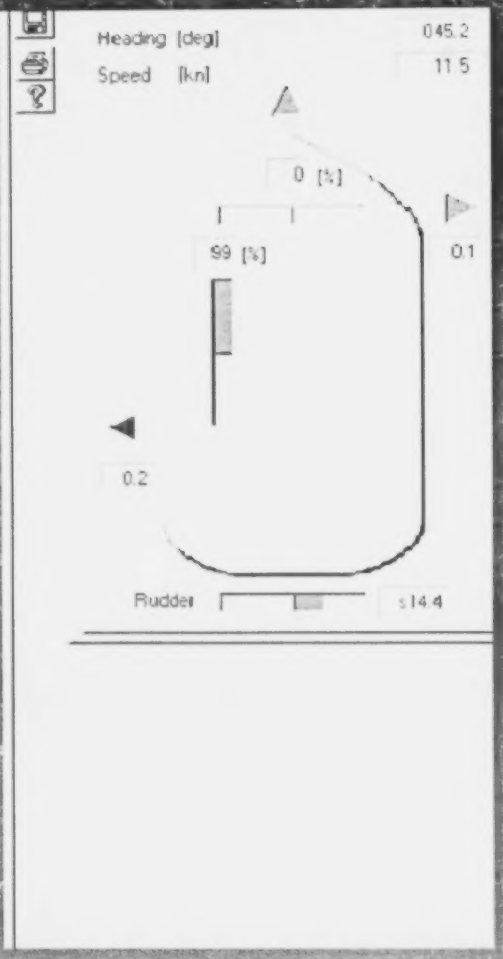


Scénario 3 – p. 12

ROBERT
HAMELIN
& associés

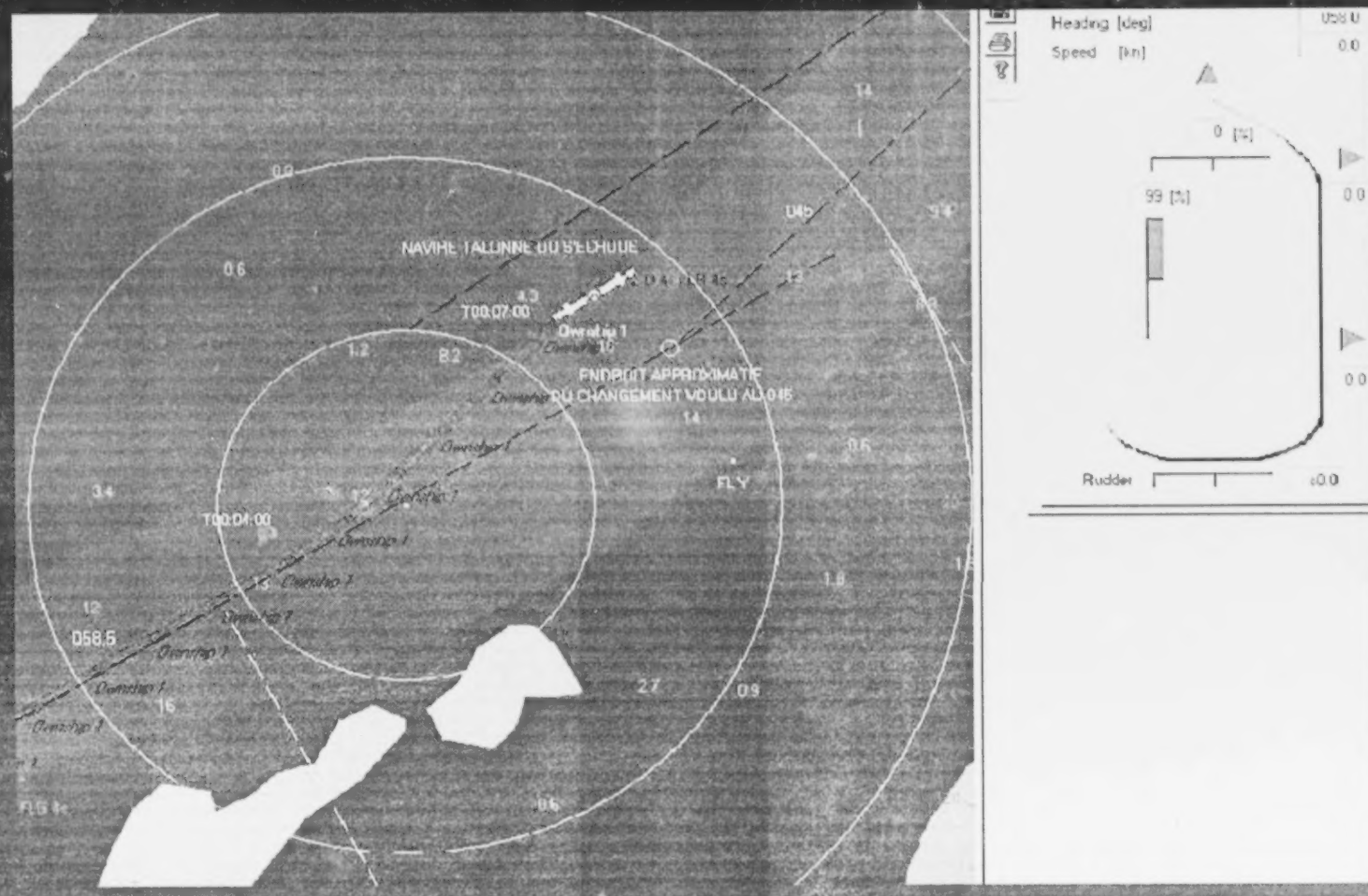
Ordre de venir à tribord





ROBERT
HAMELIN
& associés

Résultats malgré la manoeuvre

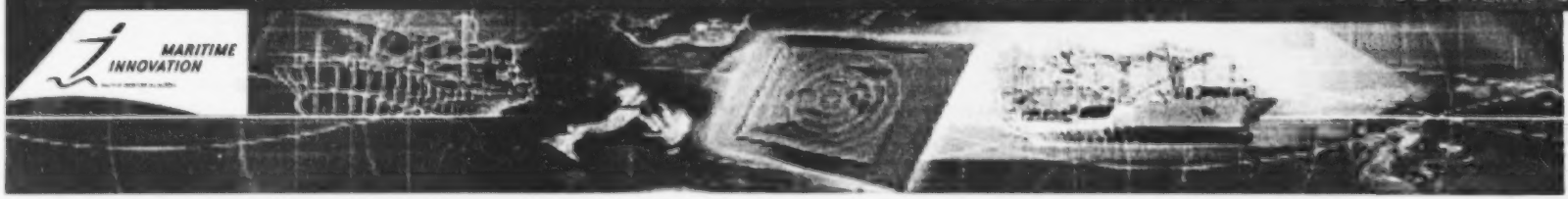


Scénario 3 – p. 14

ROBERT
HAMELIN
& associés

Quelles mesures d'atténuation peut-on envisager?

- L'affectation d'un deuxième pilote en est une :
    - Les pilotes se relèvent aux heures mais, dans les endroits critiques, le deuxième pilote doit être attentif aux faits et gestes de son confrère et du timonier.
    - Un deuxième pilote aurait pu déceler l'erreur et les mesures correctives auraient pu être prises à temps.
- Lorsque le navire est bien fourni en effectif, une bonne gestion des ressources en est une autre, avec le doublement du quart par un officier qui lui ne remplirait aucune autre tâche que la surveillance des manœuvres.
- Sa seule préoccupation serait alors de s'assurer que les manœuvres entreprises sont appropriées. Par contre, aurait-il les connaissances locales nécessaires pour réagir à temps?
- Est-ce qu'il y a assez d'officiers pour faire ce genre de travail? Les officiers sont-ils assez reposés?



ROBERT
HAMELIN
& associés

Tout ceci peut nous amener à nous poser la question suivante :

- Un SVCEI pourrait-il prendre la place d'une deuxième personne?

- Un SVCEI est un système qui permet de visualiser des cartes électroniques de navigation de format S-57 sur un écran de dimensions réglementaires.

- Nous devons retenir qu'un SVCEI utilisé en remplacement des cartes papier et conformément à toutes les dispositions des normes de fonctionnement de l'OMI, nécessite une surveillance constante de la part d'une personne qualifiée lorsqu'en eaux restreintes ou en eaux assujetties au pilotage.

ROBERT
HAMELIN
& associés

Scénario 4

Mauvaise interprétation des conditions de navigation

Erreur «humaine» et conséquences possibles en eaux restreintes

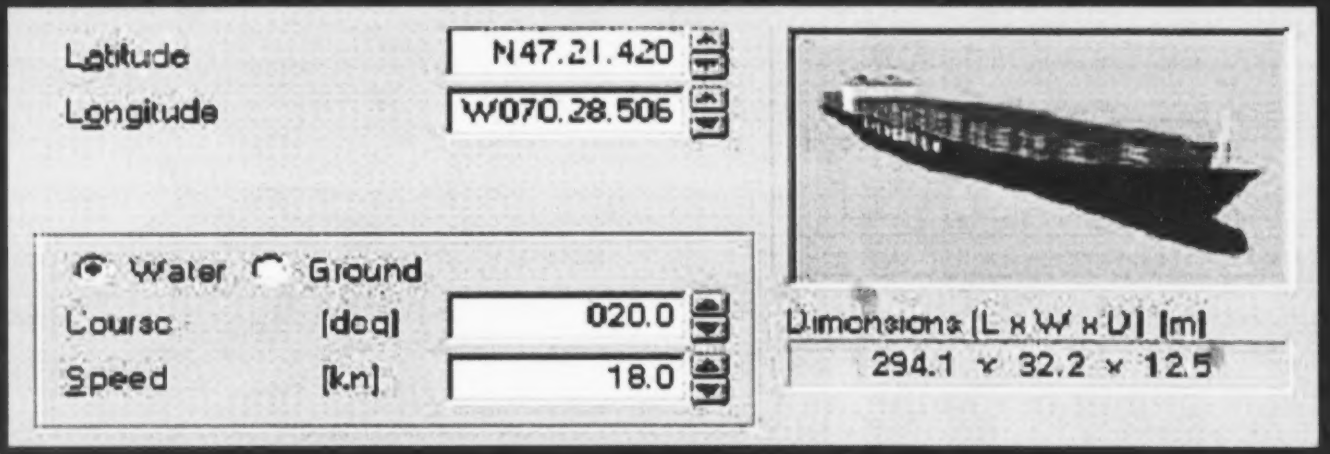
Scénario 4

Mauvaise interprétation des conditions de navigation

ROBERT
HAMELIN
& associés

Navire porteur : Porte-conteneurs

- Navire de 294 m chargé
- Largeur : 32,2 m
- Déplacement : 74 700 mètres cubes
- Tirant d'eau avant : 10 m
- Tirant d'eau arrière : 10 m
- Lorsqu'en pleine charge, TE 12,5 m
- Vitesse maximum avant : 28 nœuds
- Vitesse maximum arrière : 7,5 nœuds
- Machine : 48640 Kw

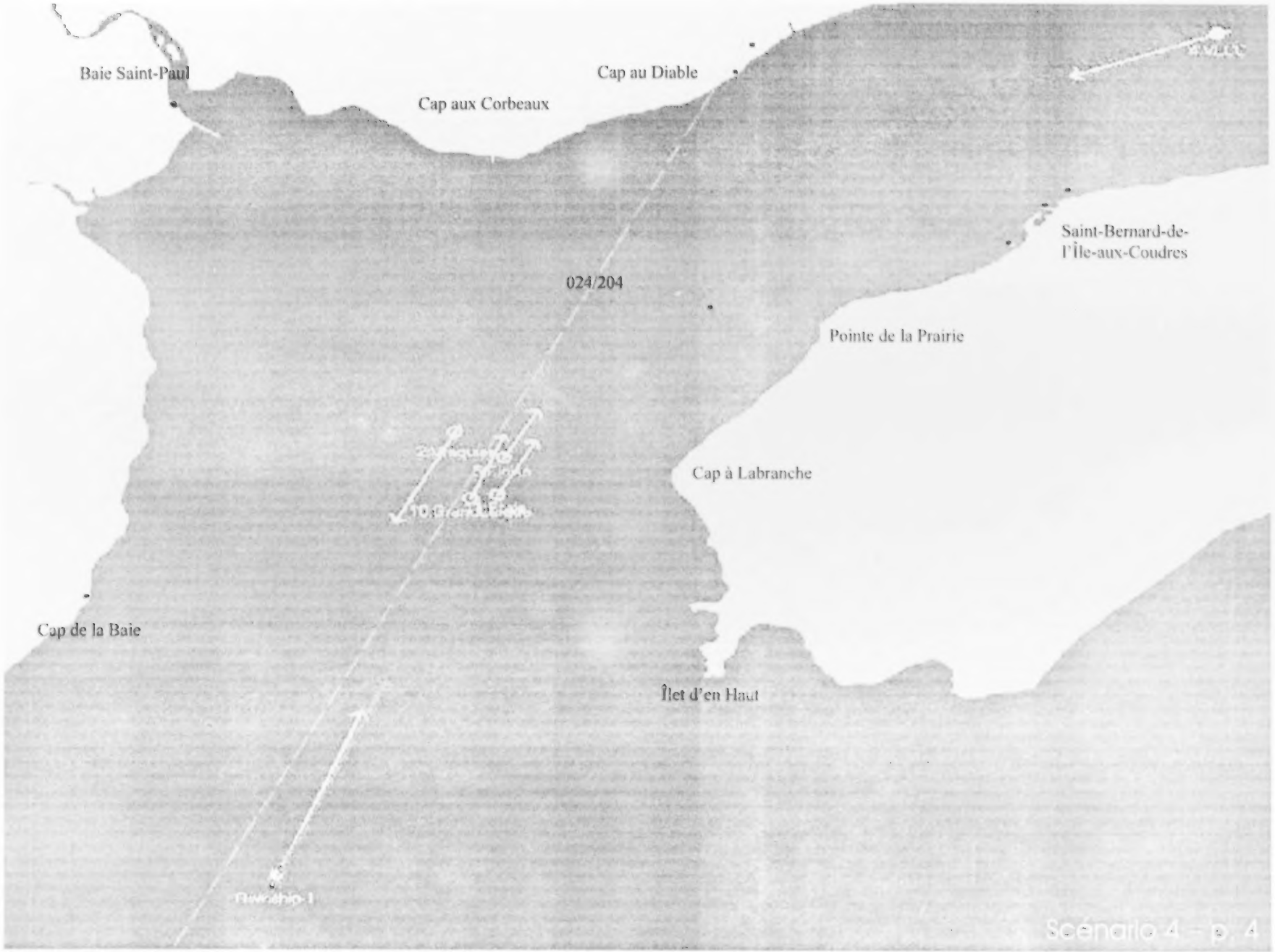


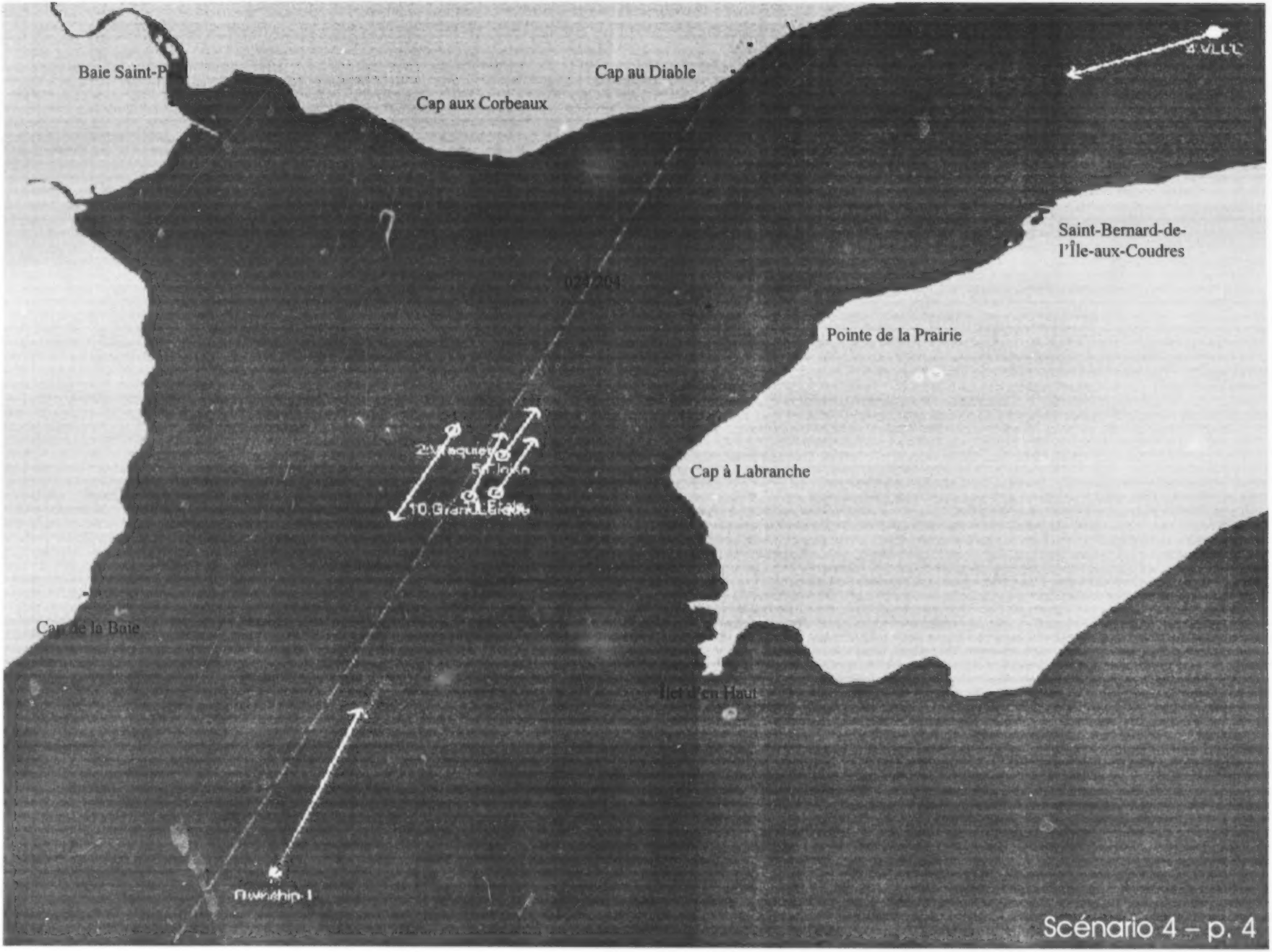
ROBERT
HAMELIN
& associés

Situation hypothétique

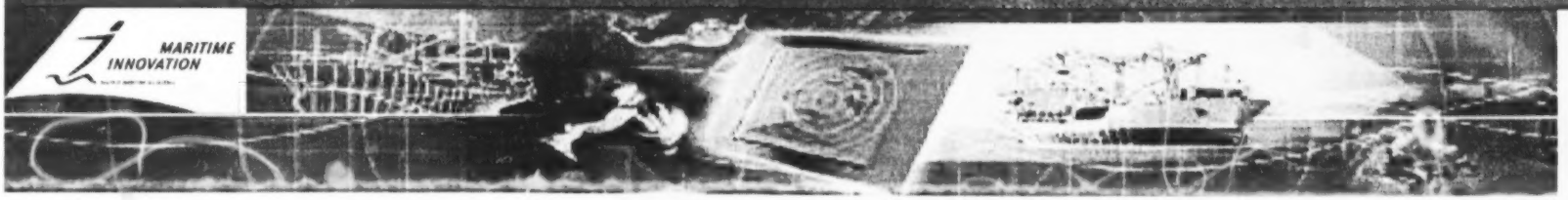
- Navire en descendant au cap de la Baie
- Vitesse réduite (*manœuvre*) 18 nœuds
- Visibilité 5 à 7 milles diminuant dans les averses de pluie, vent de SSO moyen augmentant
- État de la marée : basse à Pointe-au-Père, fort courant de baissant
- Vraquier montant au cap à Labranche
- VLCC montant à Saint-Joseph
- Trois voiliers se dirigeant vers Saint-Bernard pour se mettre à l'abri

ROBERT
HAMELIN
& associés

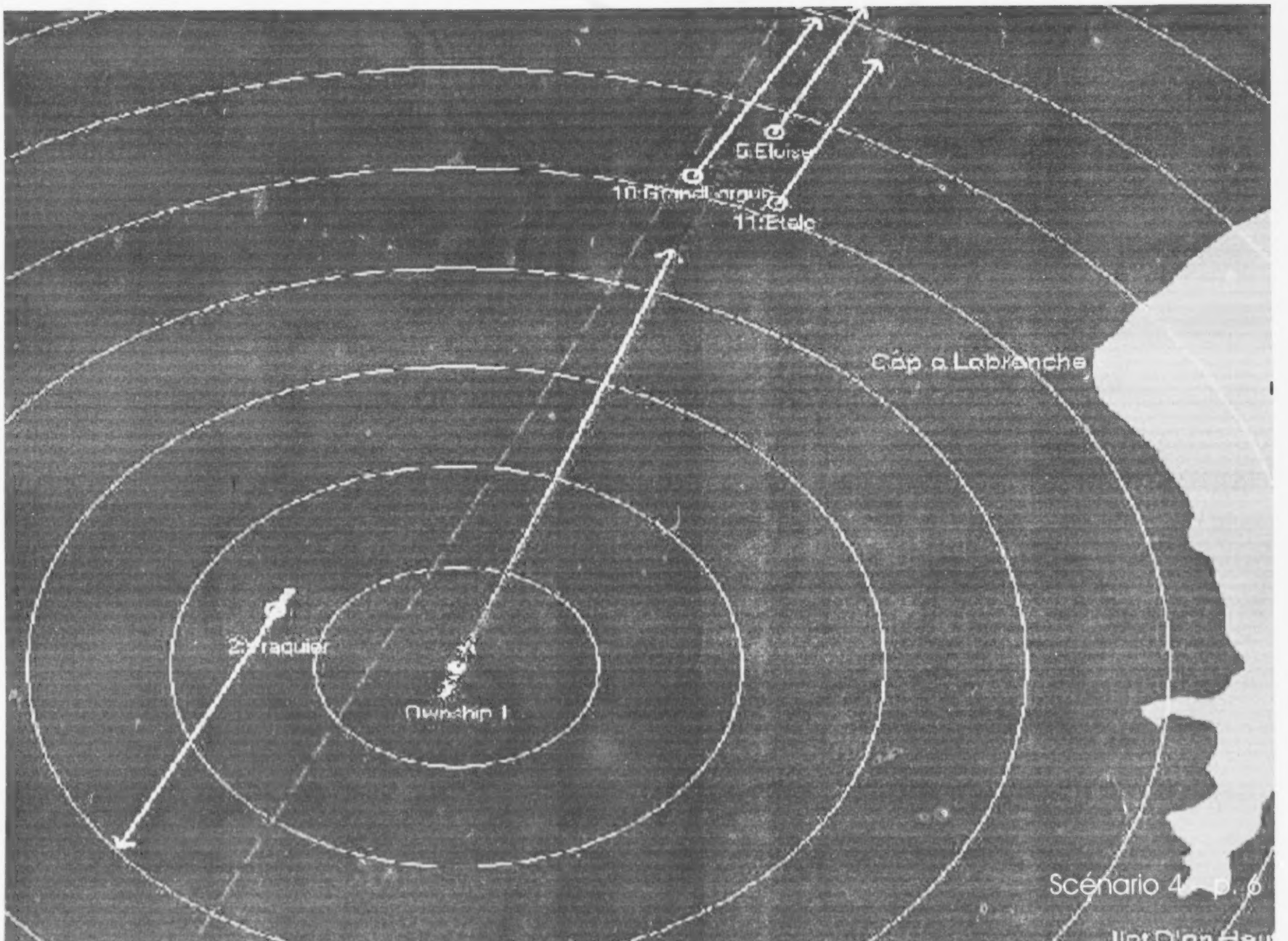

Baie Saint-Paul
Cap aux Corbeaux
Cap au Diable
Saint-Bernard-de-
l'Île-aux-Coudres
024/204
Pointe de la Prairie
Cap à Labranche
Cap de la Baie
Îlet d'en Haut

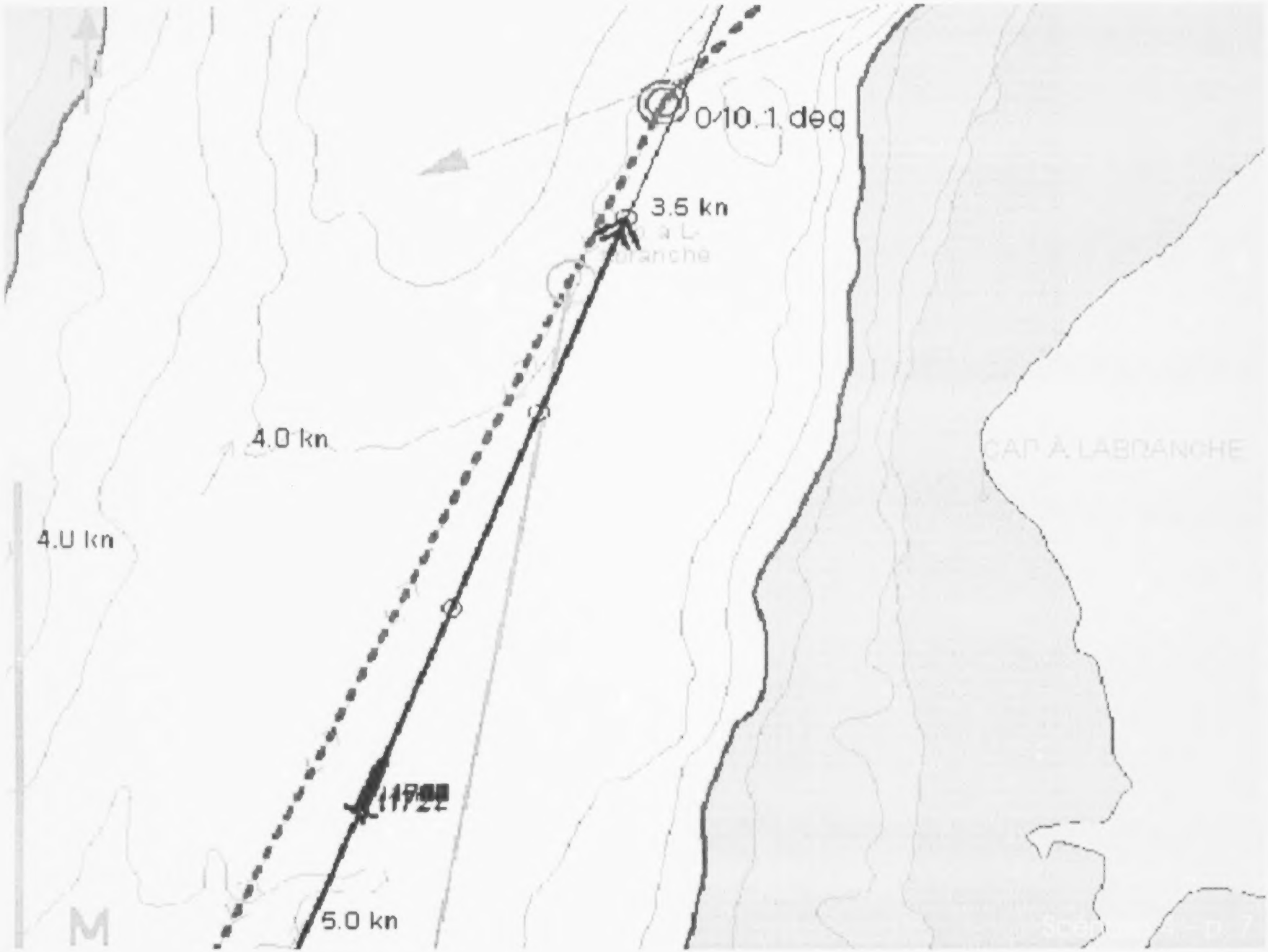

Baie Saint-P
Cap aux Corbeaux
Cap au Diable
Saint-Bernard-de-
l'Île-aux-Coudres
Pointe de la Prairie
Cap à Labranche
Cap de la Baie
Ilet d'en Haut

- Le pilote communique avec le vraquier qui indique se tenir au Nord.
- Le pilote communique avec le VLCC qui indique qu'il sera très légèrement au Nord du centre à la pointe de la Prairie.
- Le pilote du VLCC dit aussi qu'il commencera à venir doucement sur bâbord avant de croiser l'alignement et qu'il finira au 204 à deux encablures au Nord de l'alignement.
- La rencontre avec le vraquier se fait sans histoire, chacun étant respectivement à droite de l'alignement (un montant, un descendant).
- L'attention du pilote se tourne alors vers les voiliers qu'il a contactés, et il sait qu'ils se dirigent vers Saint-Bernard.



ROBERT
HAMELIN
& associés

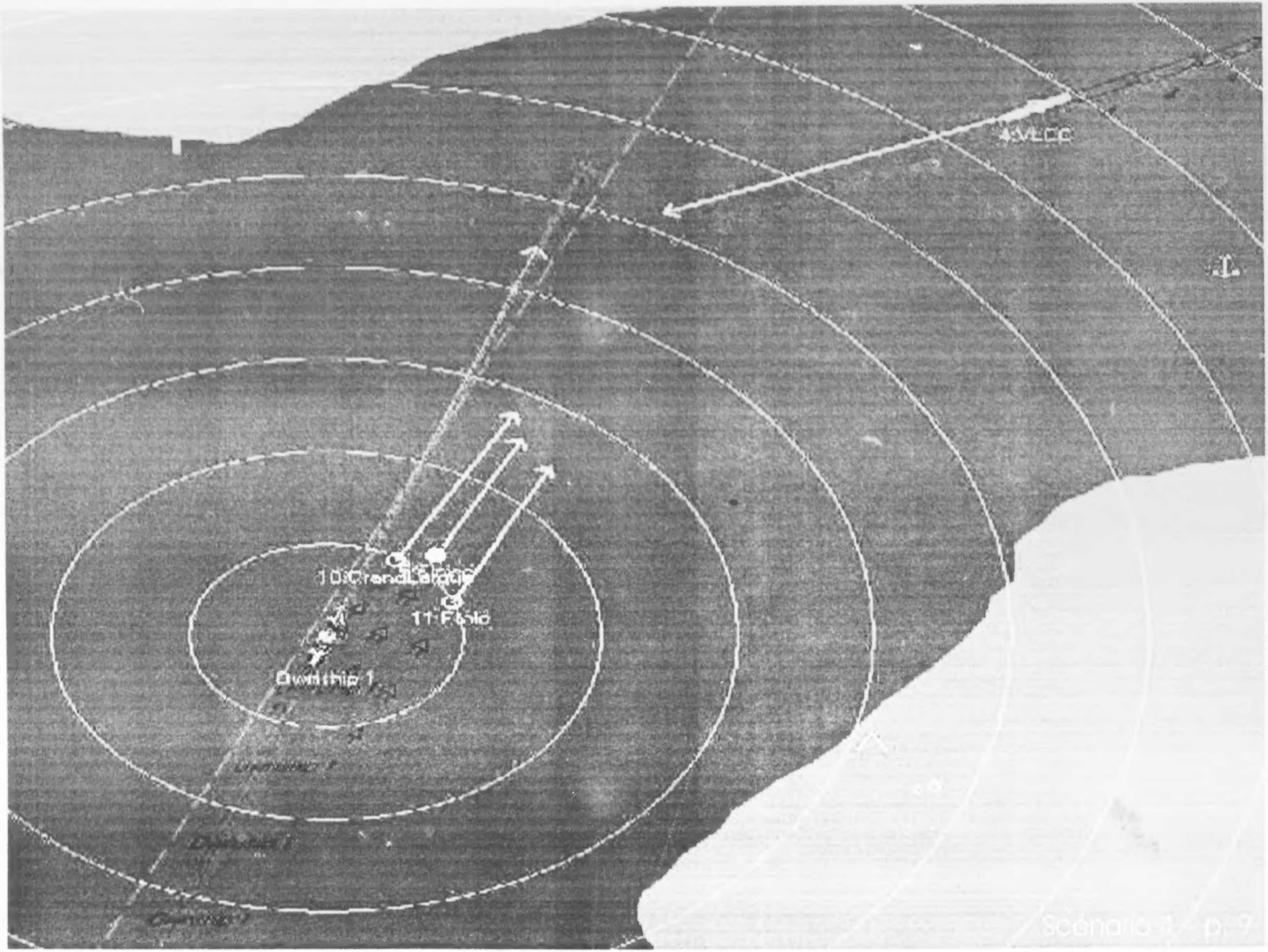

5.Eloise
10:Grand orgue
11:Etale
Cap a Labranche
2:Traquier
Ownship 1

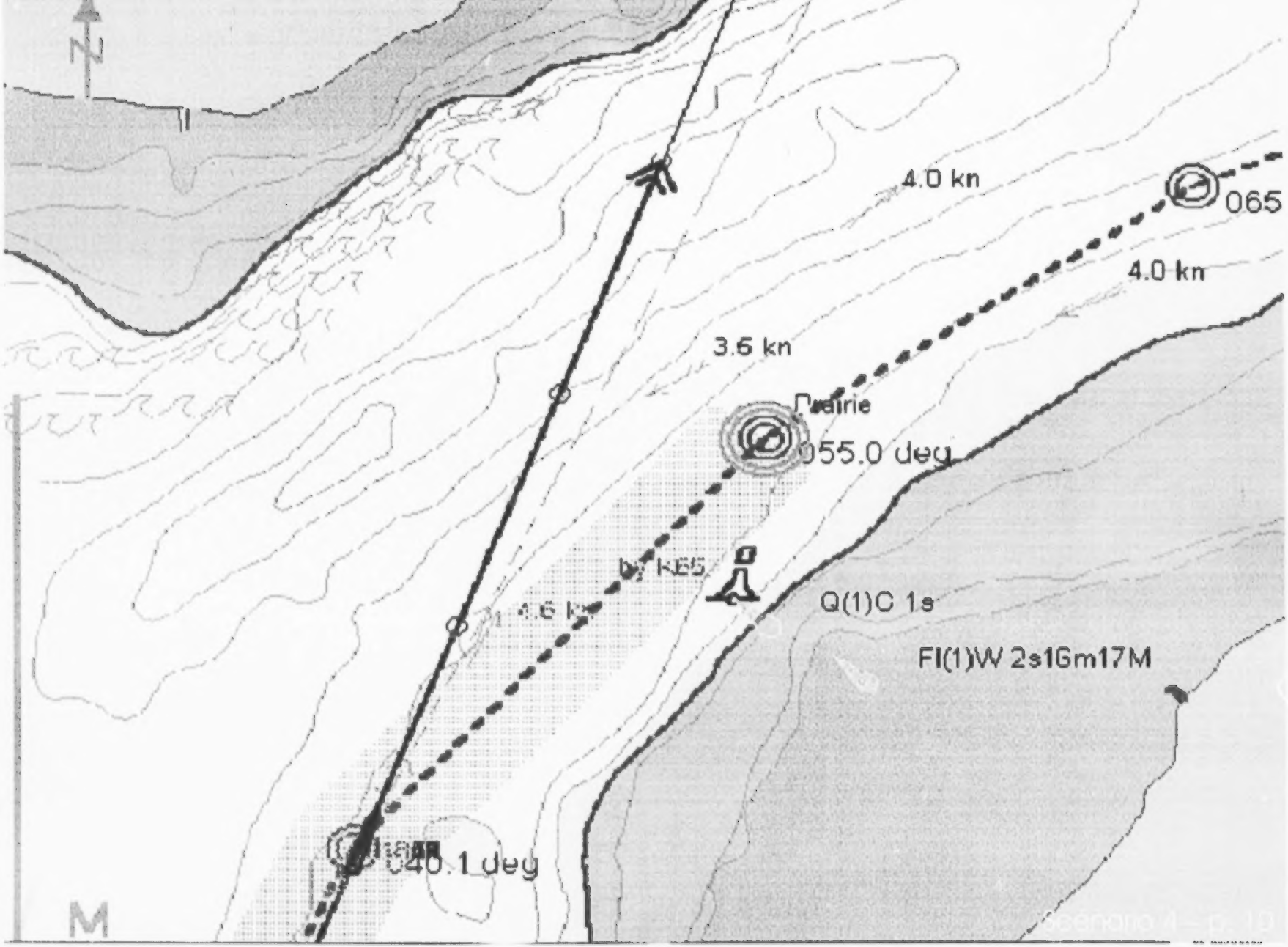

010.1 deg
3.5 kn
4.0 kn
4.0 kn
5.0 kn

Le pilote doit choisir entre une des possibilités suivantes :

- 1) Il garde route et vitesse, dépasse les voiliers par le Nord et tourne au changement de Prairie en s'ajustant selon la situation.
- 2) Il ralentit pour laisser le temps au VLCC de croiser l'alignement du cap au Diable et reprend ensuite sa vitesse.
- Admettons qu'il choisisse la première solution et en informe l'officier de quart qui se dit d'accord avec la proposition.
- Le pilote estime qu'il devrait dépasser les voiliers, visibles à l'œil nu, à son point d'ordre de barre pour la première route au 040°.
- Toutefois, lorsqu'il arrive au point de changement de route, le voilier le plus près est encore sur l'avant du travers tribord.

ROBERT
HAMELIN
& associés


4:VLCC
Ownship 1

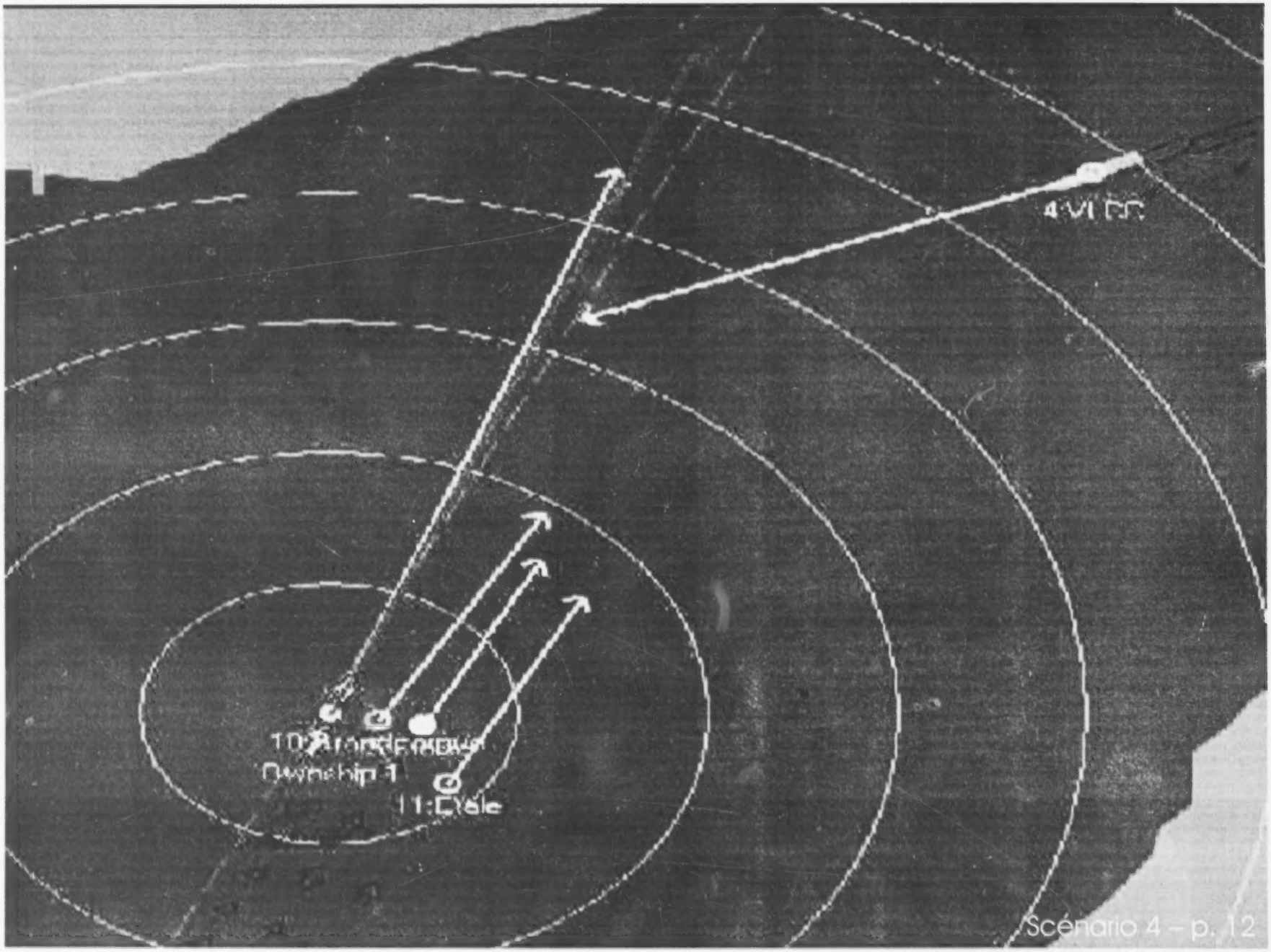

N
4.0 kn
065
4.0 kn
3.6 kn
Dairie
055.0 deg
by KE5
4.6 kn
Q(1)C 1s
Fl(1)W 2s16m17M
046.1 deg
M

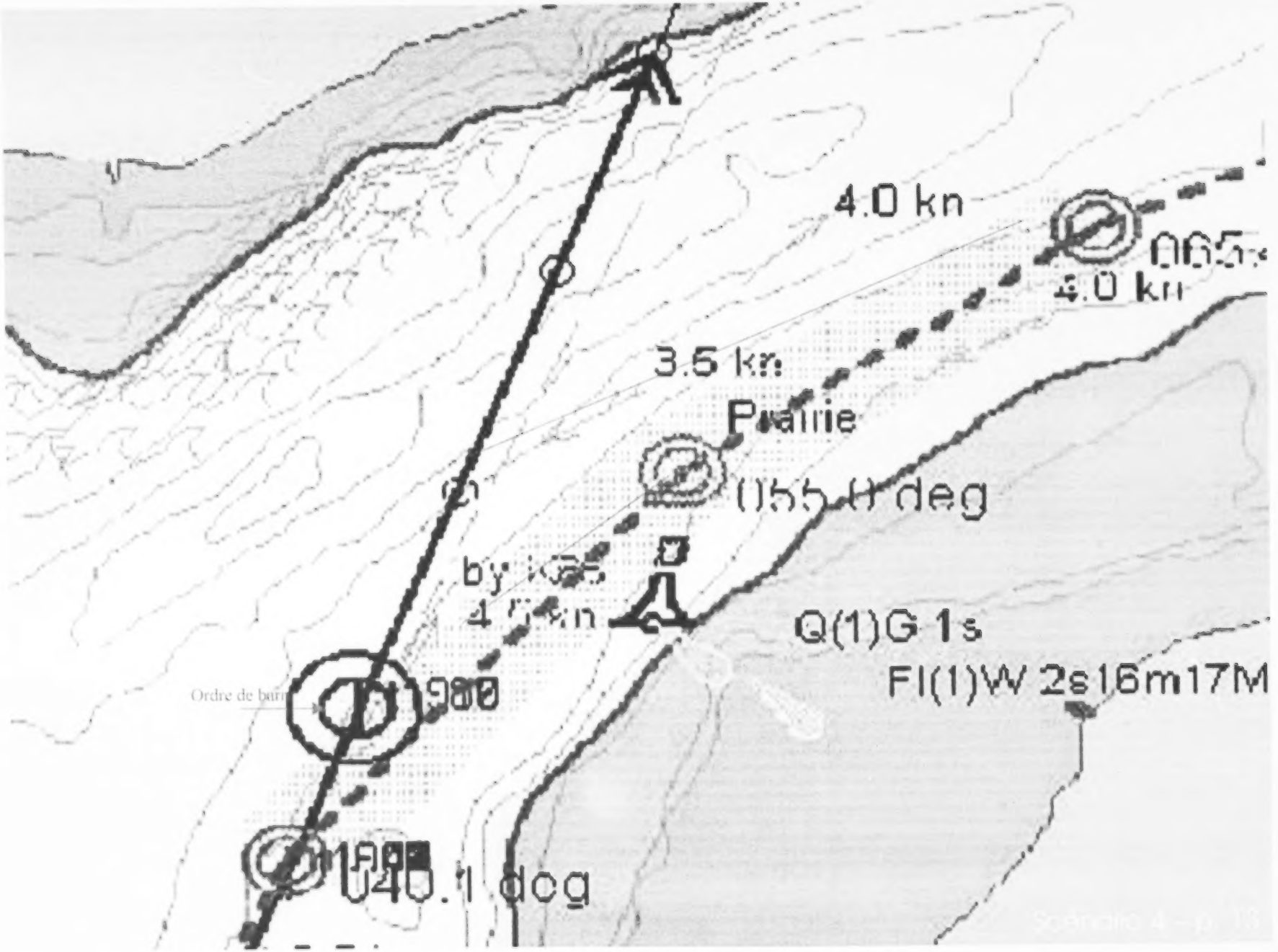
- Le pilote décide d'attendre qu'ils soient sur le travers tribord avant d'entreprendre les changements de route de Prairie (deuxième maillon qui s'enchaîne automatiquement).

- Lorsque les voiliers sont par le travers tribord, le pilote ordonne le premier changement de route au 045° (040° fond) (Troisième maillon).

- En fait, le navire a dépassé le point de changement de route et il aurait fallu ordonner un changement au 70° (065° fond) correspondant au troisième changement de route.

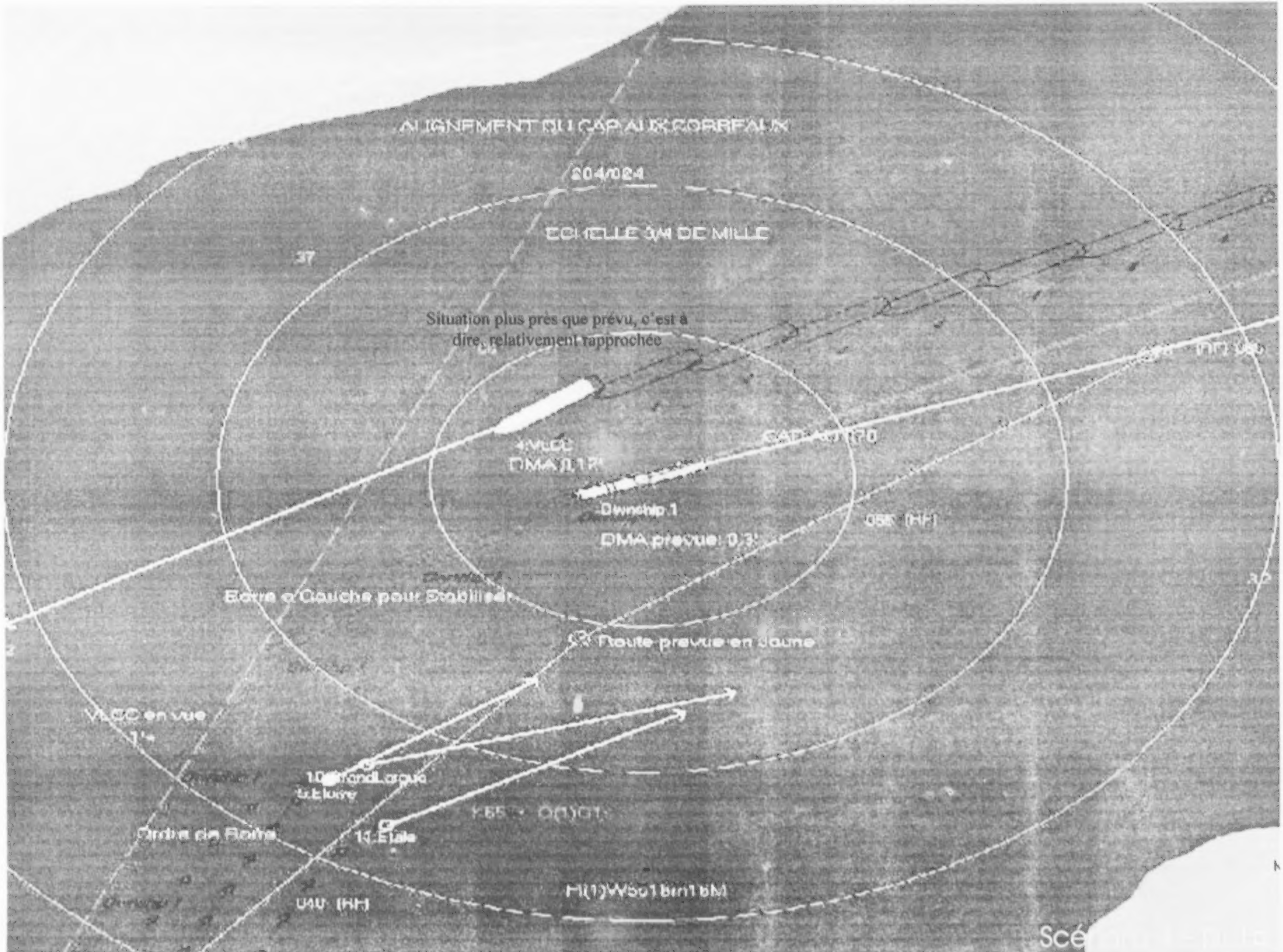
ROBERT
HAMELIN
& associés

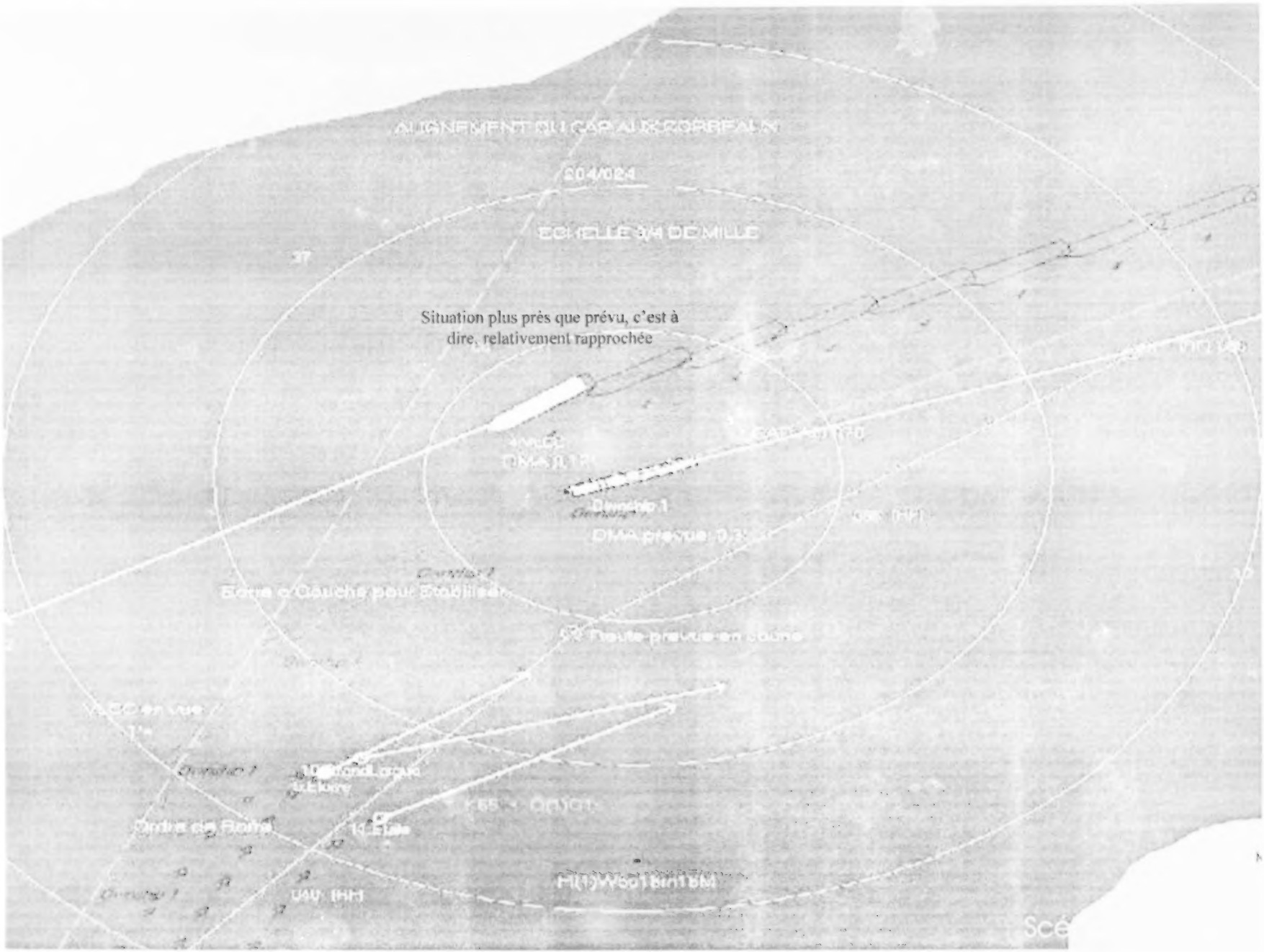

Ownship 1

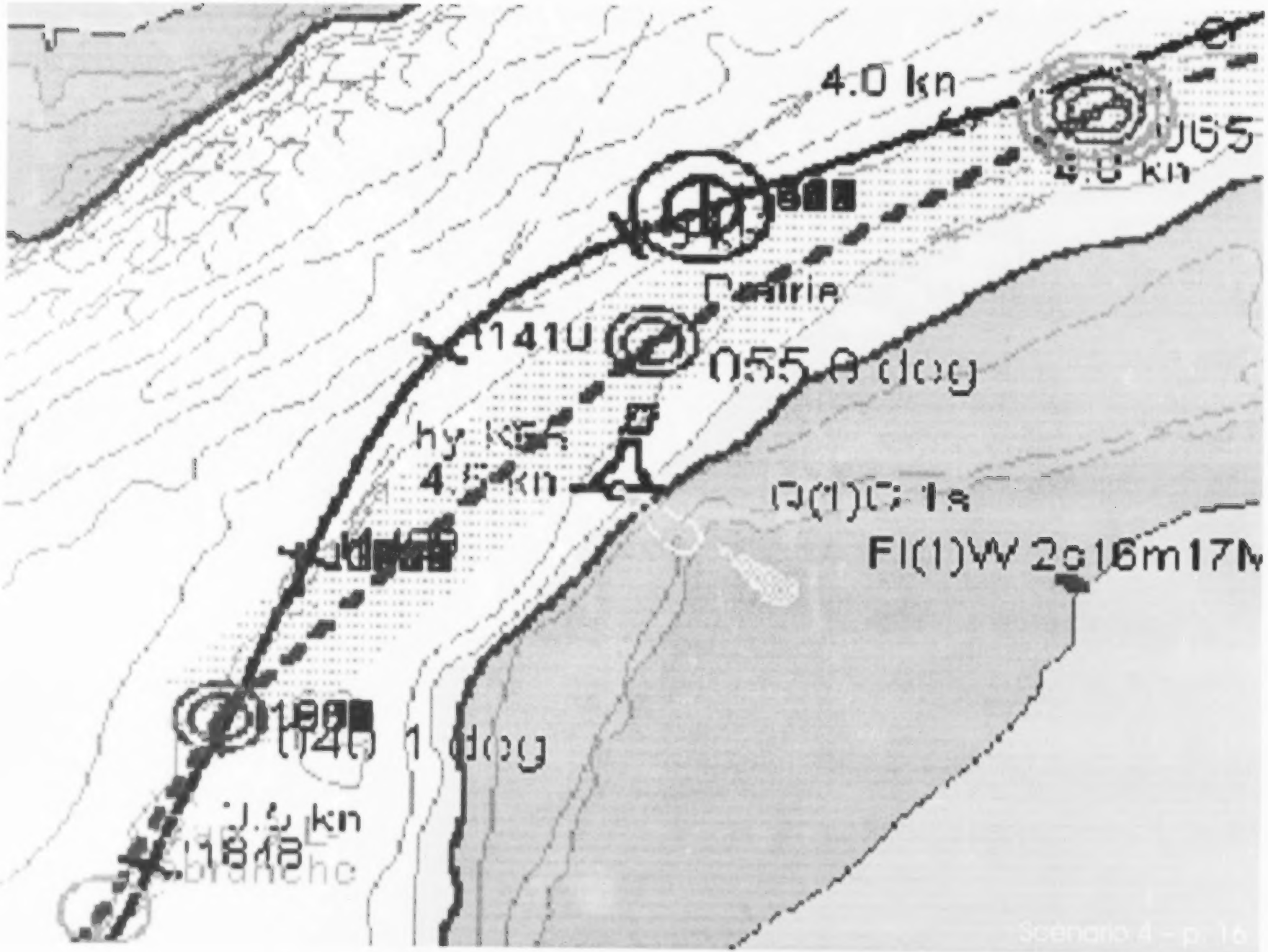

4.0 kn
4.0 kn
3.5 kn
Q(1)G 1s
Fl(1)W 2s16m17M

- Le timonier met la barre à droite 10°, ce qui est un angle normal pour ce genre de navire à moins d'indication contraire.
- Le pilote s'aperçoit assez vite qu'il est déporté au Nord et il ordonne 070°.
- Voyant les feux du VLCC dans la pluie près de l'avant, il ordonne de garder la barre à droite.
- Une situation relativement rapprochée est peut-être la conséquence la moins grave de cette situation.
- La raison pour laquelle le navire est déporté au Nord s'explique facilement :
  - Changement un peu tard
  - Courant de baissant poussant au Nord
  - Vent du SSO prenant le navire de plus en plus par le travers
  - L'effet normal de dérive latérale lors d'un changement de route

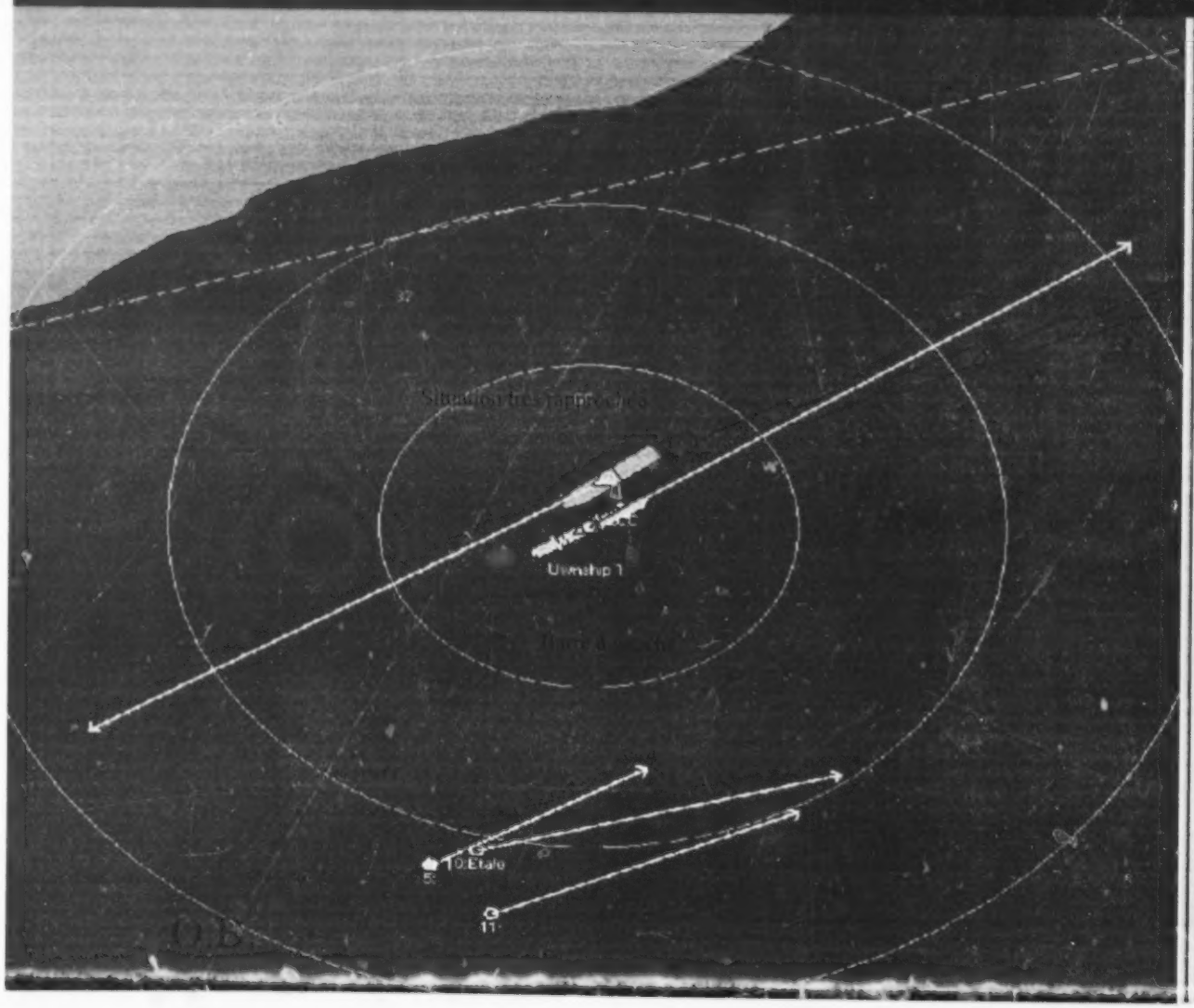
ROBERT
HAMELIN
& associés

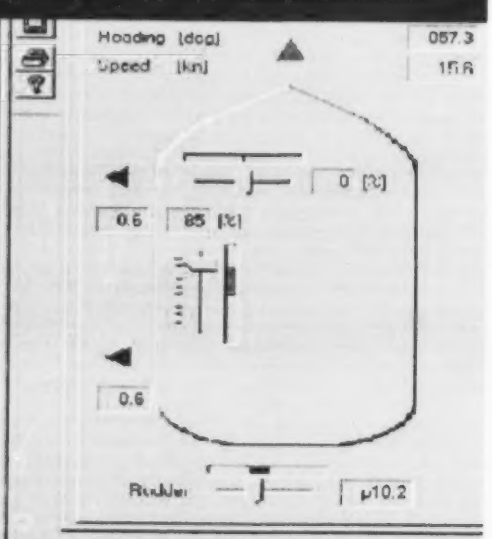

ALIGNEMENT DU CAP AUX CORBEAUX
204/024
ECHELLE 3/4 DE MILLE
Situation plus près que prévu, c'est à dire, relativement rapprochée
DMA prevue: 0,3'
Barre à Gauche pour Stabiliser
Route prevue en Jaune
VLCC en vue
Ordre de Barre
Fl(1)W5s18m16M


ALIGNEMENT DU CAP AU KORREALN
204/024
ECHELLE 3/4 DE MILLE
Situation plus près que prévu, c'est à dire, relativement rapprochée

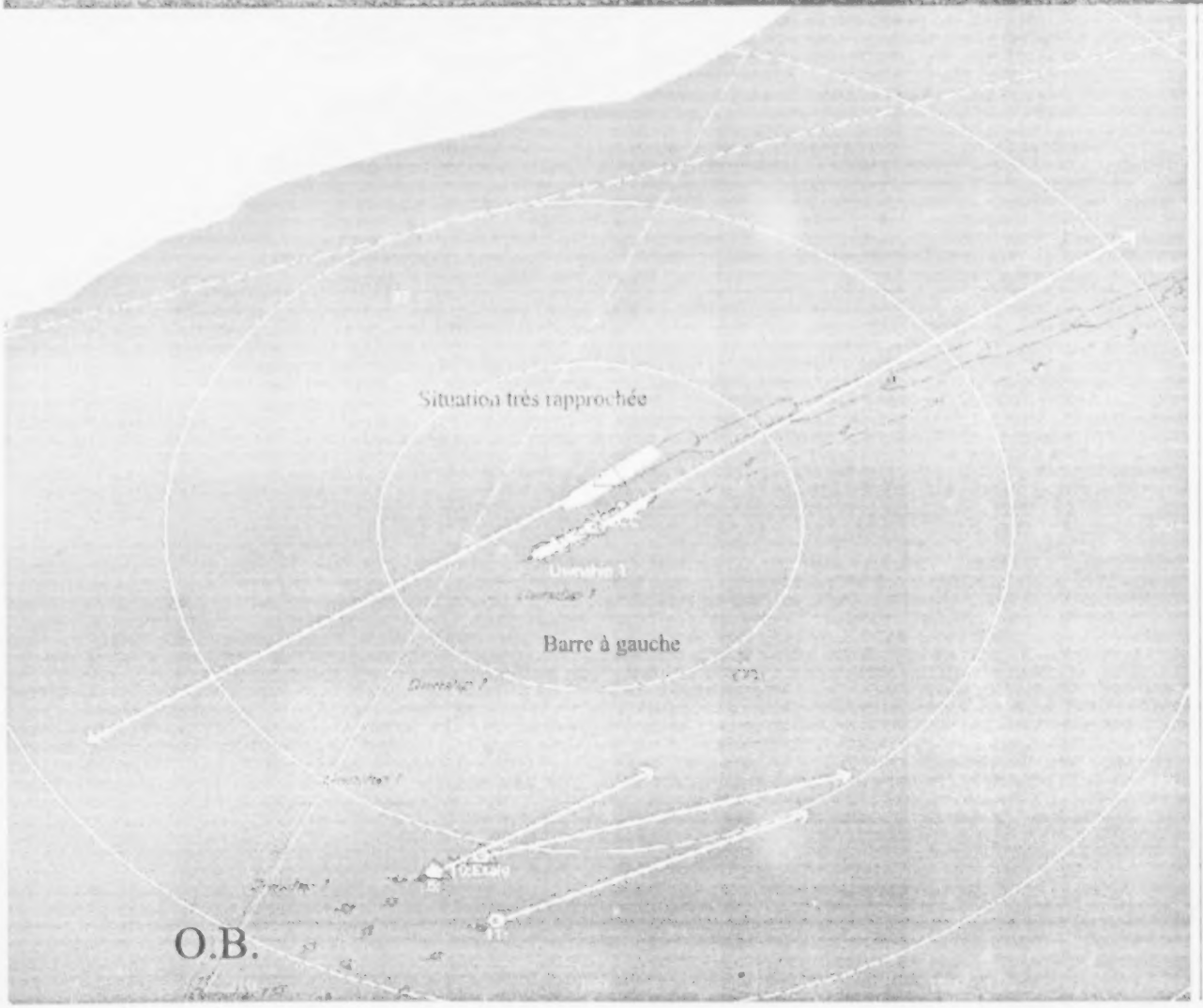

4.0 kn
4.0 kn
055.8 deg
4.5 kn
Fl(1)W 2s16m17M
1.5 kn

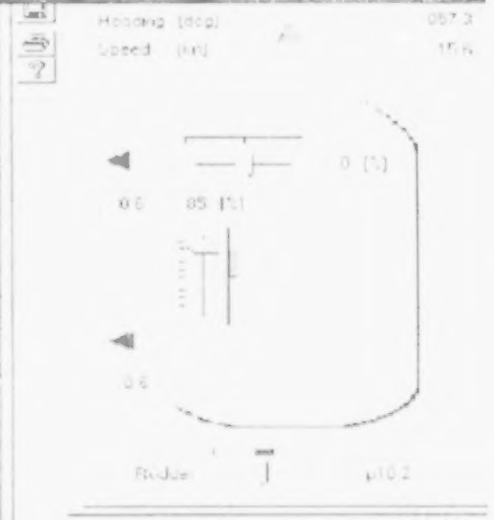
- Si le pilote avait attendu quelques instants de plus avant de tourner…





• Si le pilote avait attendu quelques instants de plus avant de tourner…





- Un navire du genre VLCC peut-il, dans une telle situation (vent de SSO, courant baissant portant fortement au Nord) se déplacer vers le Nord sans risque?

- Le taux de giration d'un tel navire se situe aux environs de 30 degrés à la minute (+-) et cela prend un certain temps avant de l'obtenir (inutile de parler ici de ralentissement).

- Un changement à droite pour ensuite revenir à gauche est impensable (danger d'exposer le flanc gauche et danger d'échouement).

- Le navire descendant fait environ 18 nœuds surface (23 sur le fond); peu de temps de réaction pour le montant.

Il existe des mécanismes qui permettent de minimiser les risques associés à ce genre de situation :

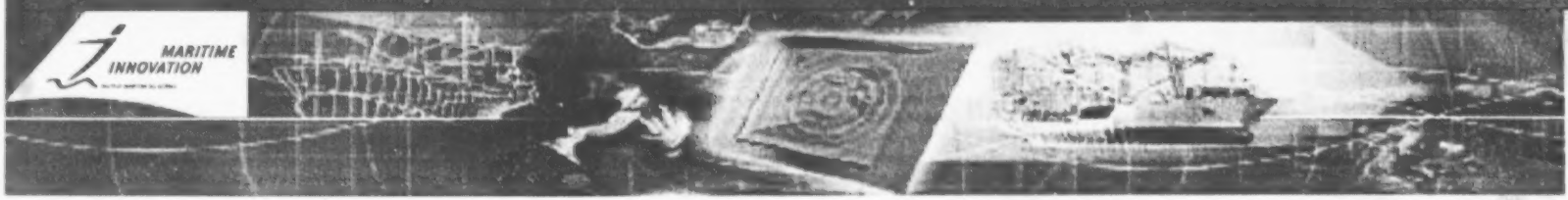
- L'affectation d'un deuxième pilote en est un.
- Lorsque le navire est bien fourni en effectif, une bonne gestion des ressources en est un autre.
- Cette bonne gestion pourrait consister à doubler le quart par un officier qui lui ne remplirait aucune autre tâche que la surveillance de manœuvres.
- Sa seule préoccupation serait alors de s'assurer que les manœuvres entreprises sont appropriées. Par contre, aurait-il les connaissances locales nécessaires pour réagir à temps?
- Est-ce qu'il y a assez d'officiers pour faire ce genre de travail? Les officiers sont-ils assez reposés?

ROBERT
HAMELIN
& associés

Un SVCEI pourrait-il prendre la place d'une deuxième personne?

- Un SVCEI est un système qui permet de visualiser des cartes électroniques de navigation de format S-57 sur un écran de dimensions réglementaires.

- Nous devons retenir qu'un SVCEI utilisé en remplacement des cartes papier et conformément à toutes les dispositions des normes de fonctionnement de l'OMI, nécessite une surveillance constante de la part d'une personne qualifiée lorsqu'en eaux restreintes ou en eaux assujetties au pilotage.



ROBERT
HAMELIN
& associés

Revoyons les évènements qui nous permettront d'analyser notre chaîne d'erreurs et de proposer des mesures d'atténuations :

Il faut savoir qu'il est difficile d'évaluer exactement où un plaisancier, surtout à voile, sera placé à un moment donné. Les erreurs qui ont commencé la chaîne peuvent être énumérées ainsi :

- La visibilité de 5 à 7 milles diminuant dans les averses : ceci devrait être interprétée comme étant moins de 5 milles et non pas comme 5 milles.
  - Mesure préventive : réduire d'avantage la vitesse
- La vitesse fond du navire a peut-être été surestimée ce qui laissait indiquer que le dépassement des voiliers se ferait plus tôt (ou bien, la vitesse des voiliers a été sous estimée).
  - Mesure préventive : utiliser la technologie disponible, GPS ou SVCEI pour évaluer la vitesse fond, l'officier aurait pu utiliser l'APRA pour voir le temps et l'endroit du CPA.

ROBERT
HAMELIN
& associés

- Le navire avait dépassé son point de changement de route lorsqu'il a commencé à virer
  - Mesure préventive : utiliser les distances radar (avant le point de changement) si les amers visuels ne sont pas disponibles à cause de la visibilité réduite.
  - Utiliser aussi la technologie disponible, SVCEI par exemple qui est un excellent moyen pour confirmer la position.
- Si la fatigue du pilote était en cause dans le déroulement du scénario que nous présentons…
  - Serait-il pensable de prévoir des stations intermédiaires d'embarquement de pilote qui diminueraient le temps de transit d'une station à l'autre?
  - Cette mesure d'atténuation aurait pour effet de réduire les risques d'erreurs causées par la fatigue des pilotes

- Si la fatigue de l'officier était en cause dans le déroulement du scénario que nous présentons…
  - Nous avons déjà proposé de doubler les effectifs à la passerelle.
  - Le deuxième officier a-t-il les connaissances locales nécessaires pour réagir à temps?
  - Est-ce qu'il y a assez d'officiers pour faire ce genre de travail?
  - Les officiers sont-ils assez reposés?
  - Est-ce économique de le faire?

ROBERT
HAMELIN
& associés

Voici quelques exemples de faits qui peuvent produire une situation à risque :

- Relevés contradictoires non clarifiés
- Désaccord entre personnes ayant un poids similaire dans le processus de navigation
- Avis d'un subalterne non considéré
- Non respect des règles élémentaires dans le suivi de la progression
- Inattention (fatigue?) et difficultés de communication
- Équipage réduit en nombre
- Manque d'instructions précises sur les tâches de chacun et manque de connaissances des fonctions de routine
- Préparation inadéquate et organisation inadéquate
- Excès de confiance (autant dans les instruments électroniques qu'en soi-même)
- Sous utilisation des aides à la navigation disponibles
- Manque de supervision du personnel en place
- Mauvaise appréciation des caractéristiques de manœuvre du navire
- Personnel disponible sous ou mal utilisé, etc.

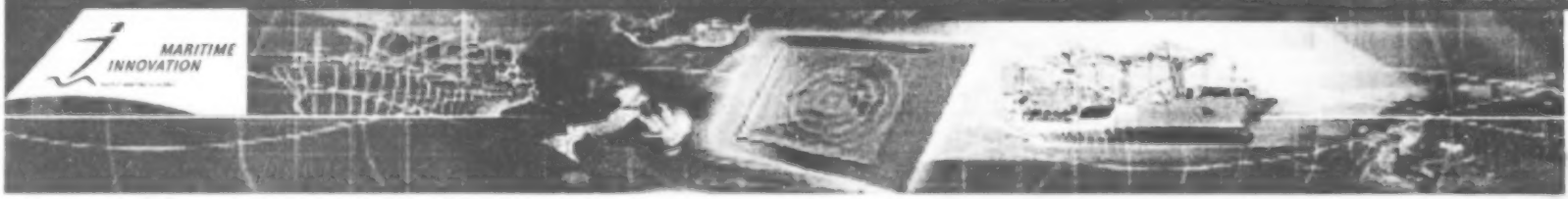
ROBERT
HAMELIN
& associés

Quelques mesures pratiques d'atténuation des risques :

- Cours de gestion des ressources à la passerelle obligatoires pour tous les officiers et les pilotes avec un volet important ouvert sur les relations «Pilote/Équipage».
- Études périodiques (en marge et surplus des cours de GRP) de cas d'accidents animés par un professionnel du métier en vue de tirer des leçons bénéfiques pour la prévention.
- Doubler les quarts à la passerelle en eaux de pilotage, un des officiers ayant un rôle spécifique de soutien au pilote (si possible, considérant le nombre d'officiers disponibles).
- Augmenter les effectifs pour pouvoir doubler les quarts.
- Embarquer avec deux timoniers expérimentés. *Rotterdam* est un exemple concret de cette pratique, mais un seul timonier embarque avec le pilote.
- Affecter un deuxième pilote pour assister le premier.

ROBERT
HAMELIN
& associés

- Donner une formation complète, en addition des cours réguliers déjà dispensés dans les écoles de marine, sur les aides électroniques à la navigation aux officiers des navires.
- Donner une formation complète et périodique aux pilotes sur les aides à la navigation qui permettrait aux pilotes d'être en mesure de mieux utiliser les équipements embarqués (même si un SVCEI peut contenir une somme très importante d'information dans diverses «fenêtres»).
- Utilisation optimale des aides à la navigation disponibles.
- Vérification critique et constante de la corrélation entre ces aides (Radar/SVCEI par exemple).
- Installation de réflecteurs radar à des endroits stratégiques le long du fleuve.
- Le système AIS permet de voir très exactement le positionnement des autres navires sur la carte électronique et facilite, entre autres, la planification des rencontres ou dépassements.
- L'implantation obligatoire et l'obligation pour tous les navires transitant dans nos eaux d'avoir un système d'exploitation reconnu et approuvé serait une autre de ces mesures d'atténuation des risques.
- Des cours appropriés devraient alors être dispensés à tous les utilisateurs.
- La technologie AIS permettrait un meilleur suivi du trafic par les STM.



Scénario 5

Accostage au Foulon

Erreur «humaine» et conséquences possibles en eaux restreintes

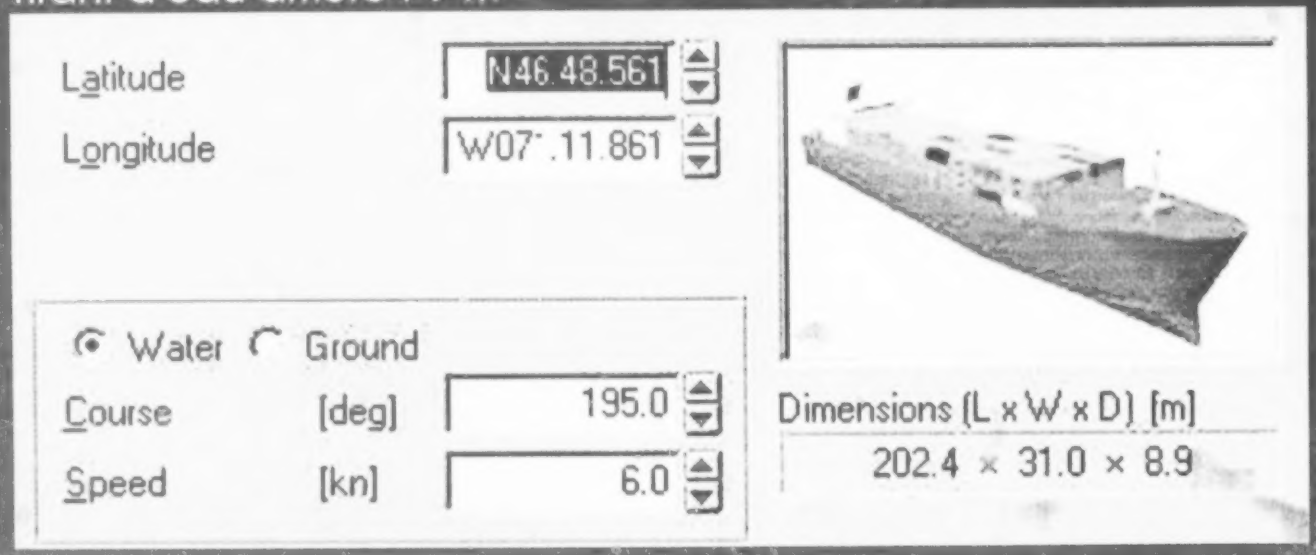
Scénario 5

Accostage au Foulon

ROBERT
HAMELIN
& associés

Navire porteur : Porte-conteneurs

- Navire de 203 m chargé
- Largeur : 31 m
- Déplacement : 32 930 mètres cubes
- Tirant d'eau avant : 8,6 m
- Tirant d'eau arrière : 9 m
- Vitesse maximum avant : 25 nœuds
- Vitesse maximum arrière : 9,8 nœuds
- Machine : 46820 Kw

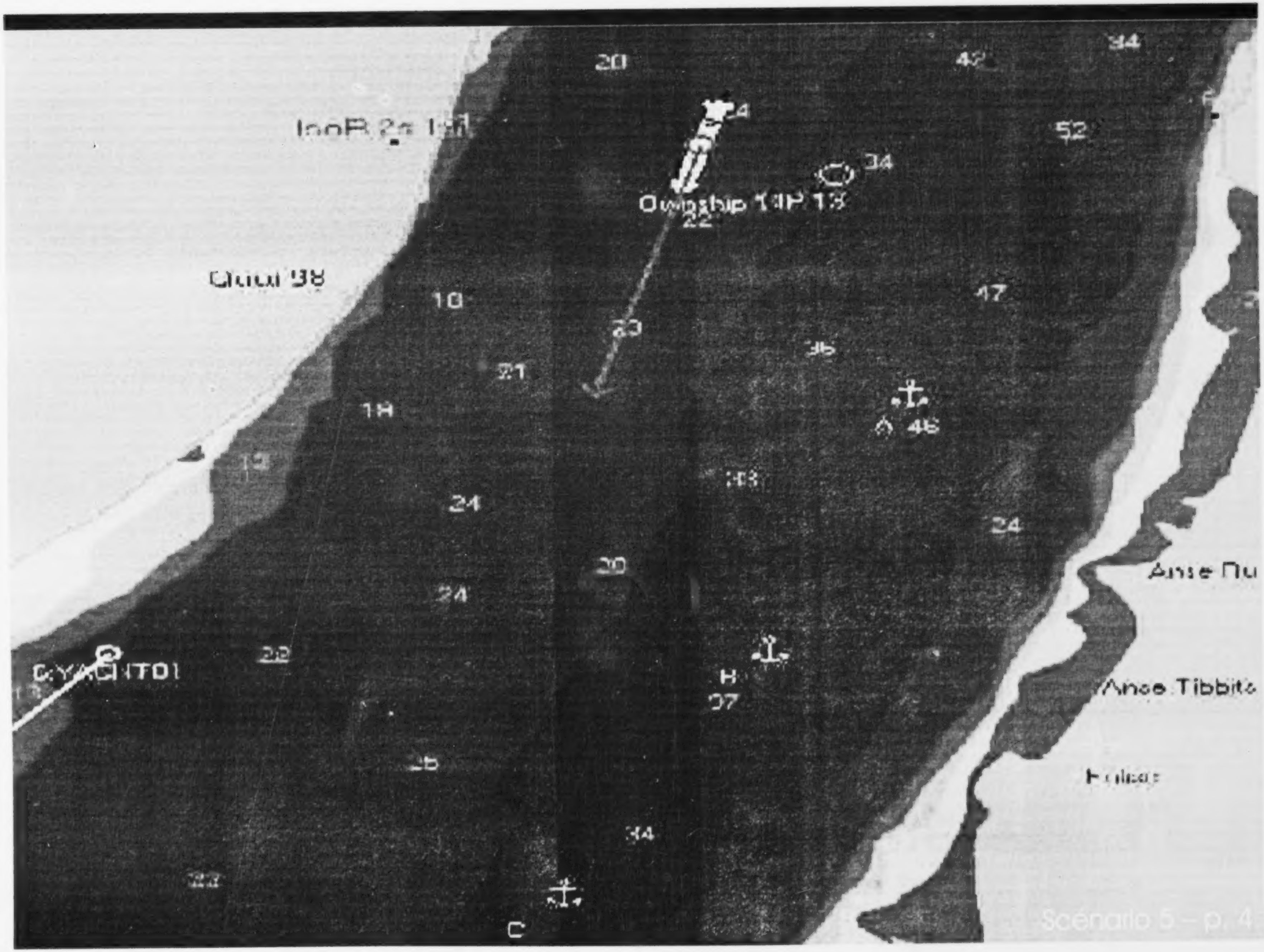


ROBERT HAMELIN & associés

Situation hypothétique

- Porteur au point d'appel 13
- Vitesse surface 6 nœuds
- Visibilité moyenne, vent léger du NE
- État de la marée : étale, courant négligeable
- Destination : quais 105/106
- Un navire de 150 mètres est amarré au quai 102
- Un petit pétrolier est amarré au quai 108
- Deux pétroliers sont amarrés à Ultramar

ROBERT
HAMELIN
& associés

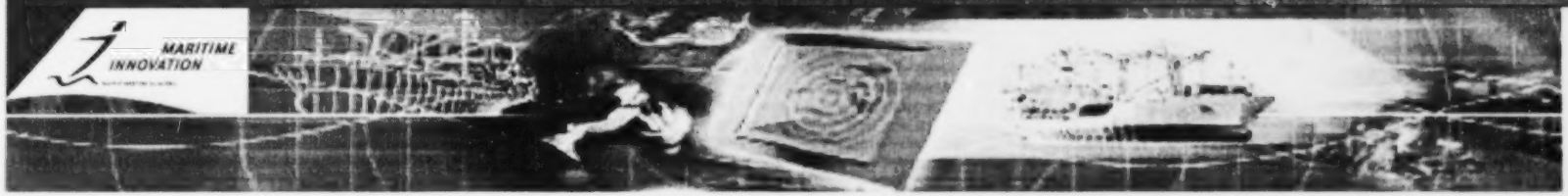

Ownship
Anse Tibbits
Scénario 5 – p. 4

- Le capitaine prend la responsabilité de ne pas prendre de remorqueurs.

- Le pilote explique la manœuvre qu'il entend entreprendre pour l'accostage : Laisser un bon espace avec le navire amarré au quai 102, arriver avec un angle d'approche d'environ 30°, donner un coup de fouet pour commencer la giration sur bâbord avant de battre en arrière et de finaliser à l'aide des aussières et du pousseur d'étrave au besoin.

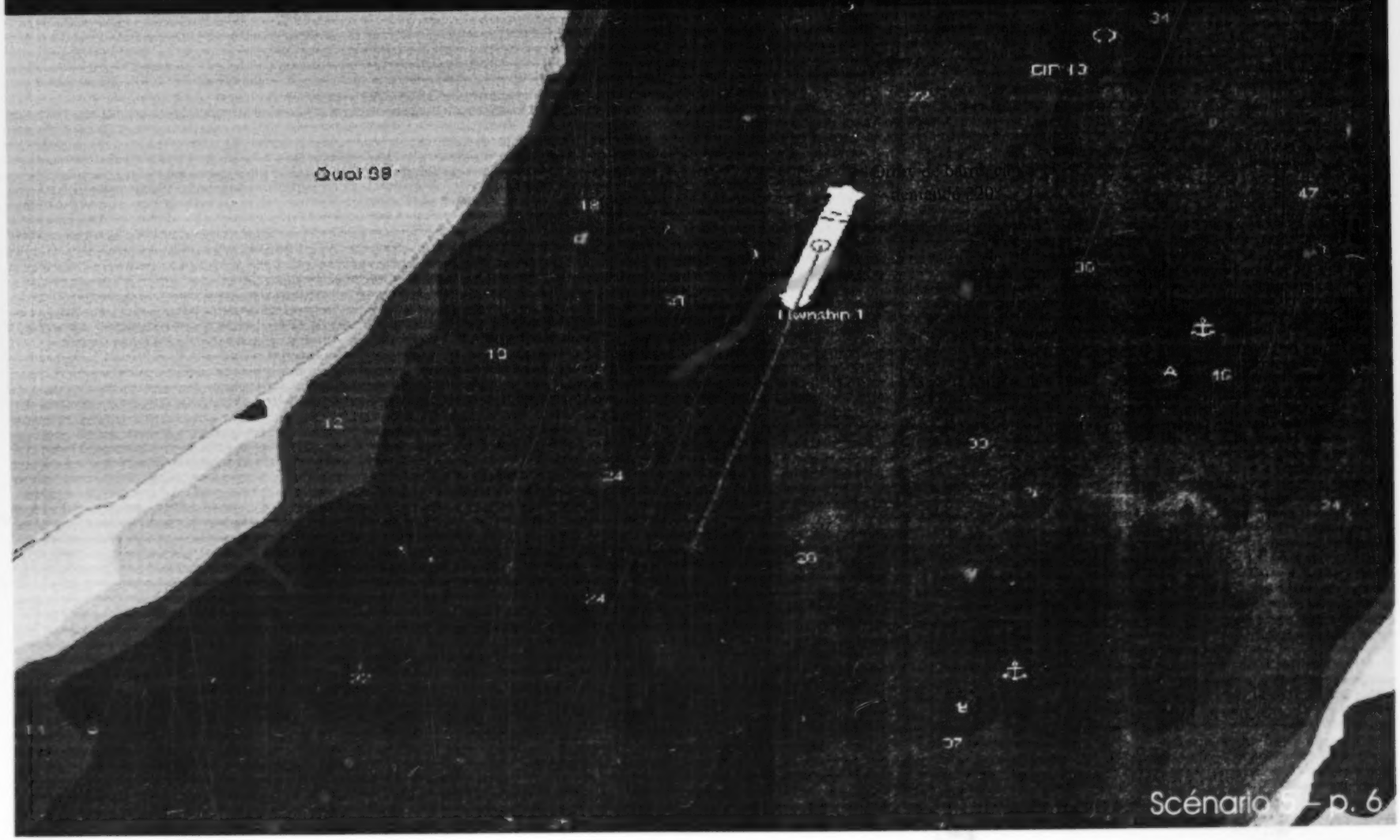
- Le capitaine se dit d'accord.

- Il est aussi entendu qu'un ordre de barre standard est toujours de 10° à moins d'avis contraire (gros gouvernail efficace).

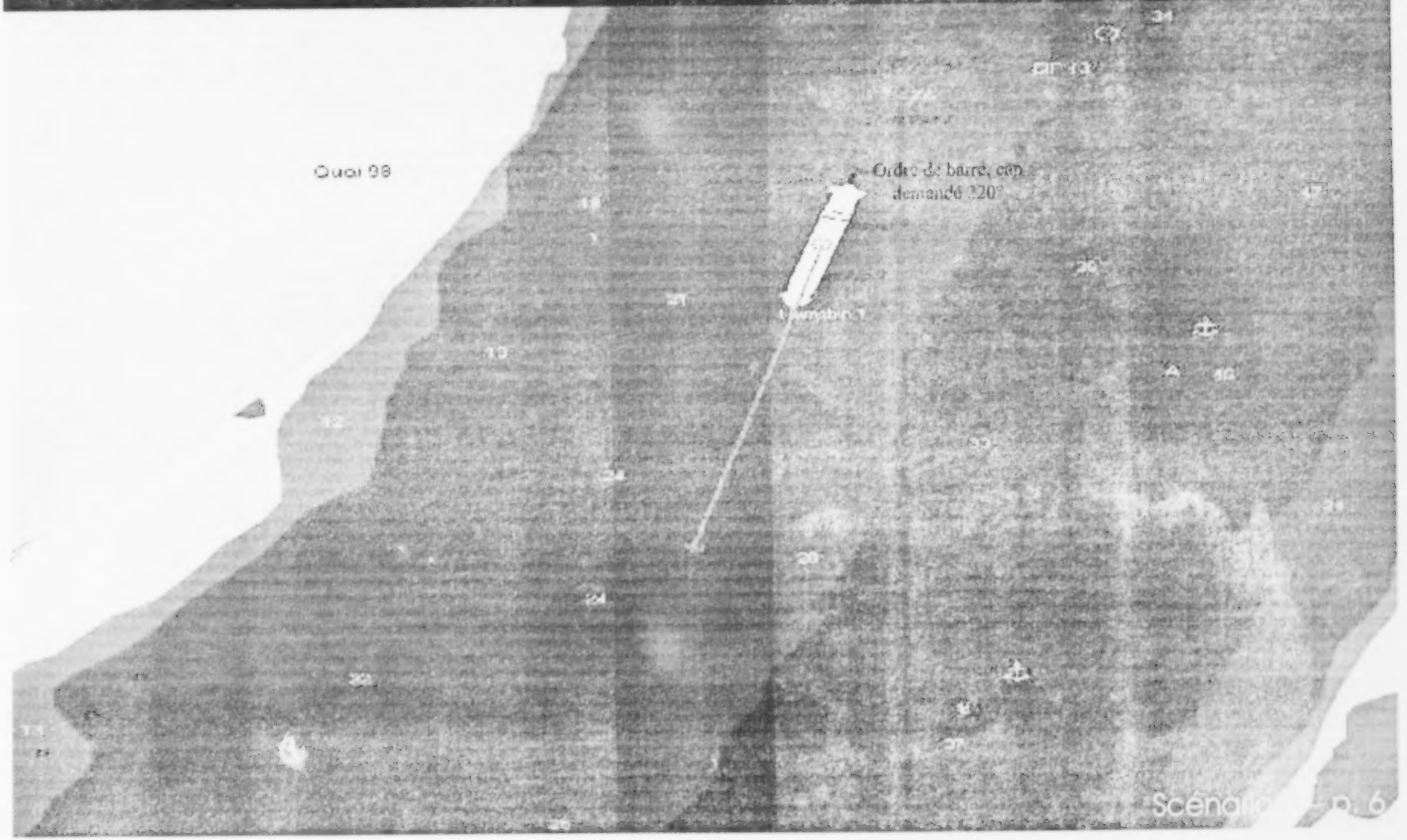


ROBERT
HAMELIN
& associés

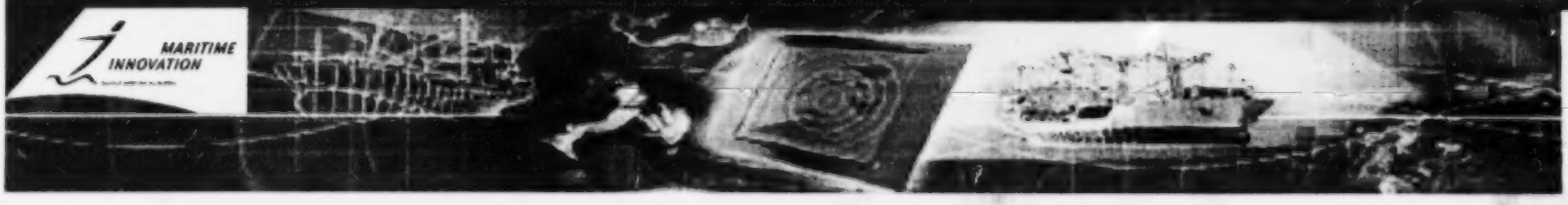
- Au large du quai 98, le pilote ordonne 220°.
- Le capitaine transmet l'ordre au timonier qui ne parle ni le français ni l'anglais.



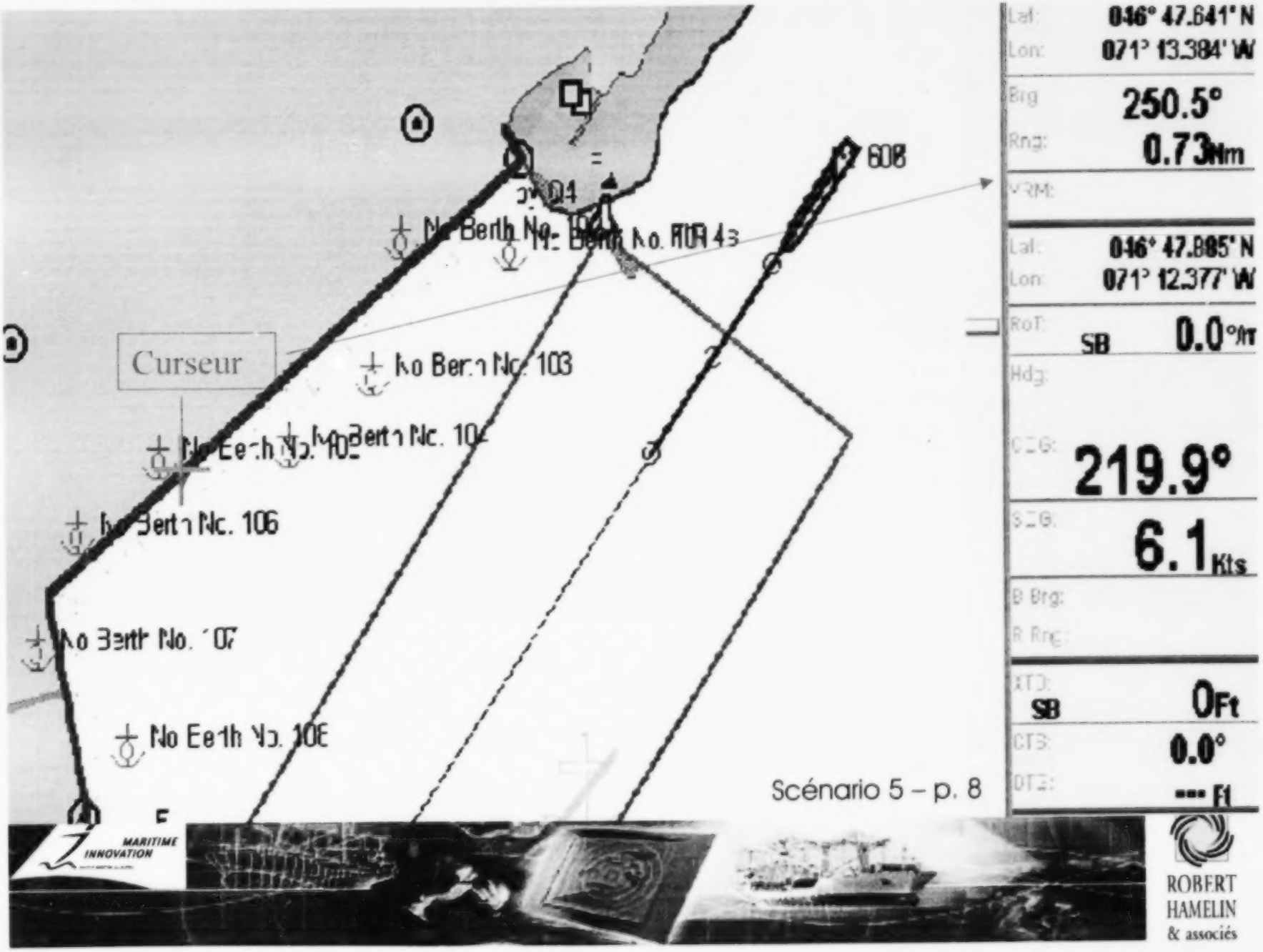
- Au large du quai 98, le pilote ordonne 220°.
- Le capitaine transmet l'ordre au timonier qui ne parle ni le français ni l'anglais.

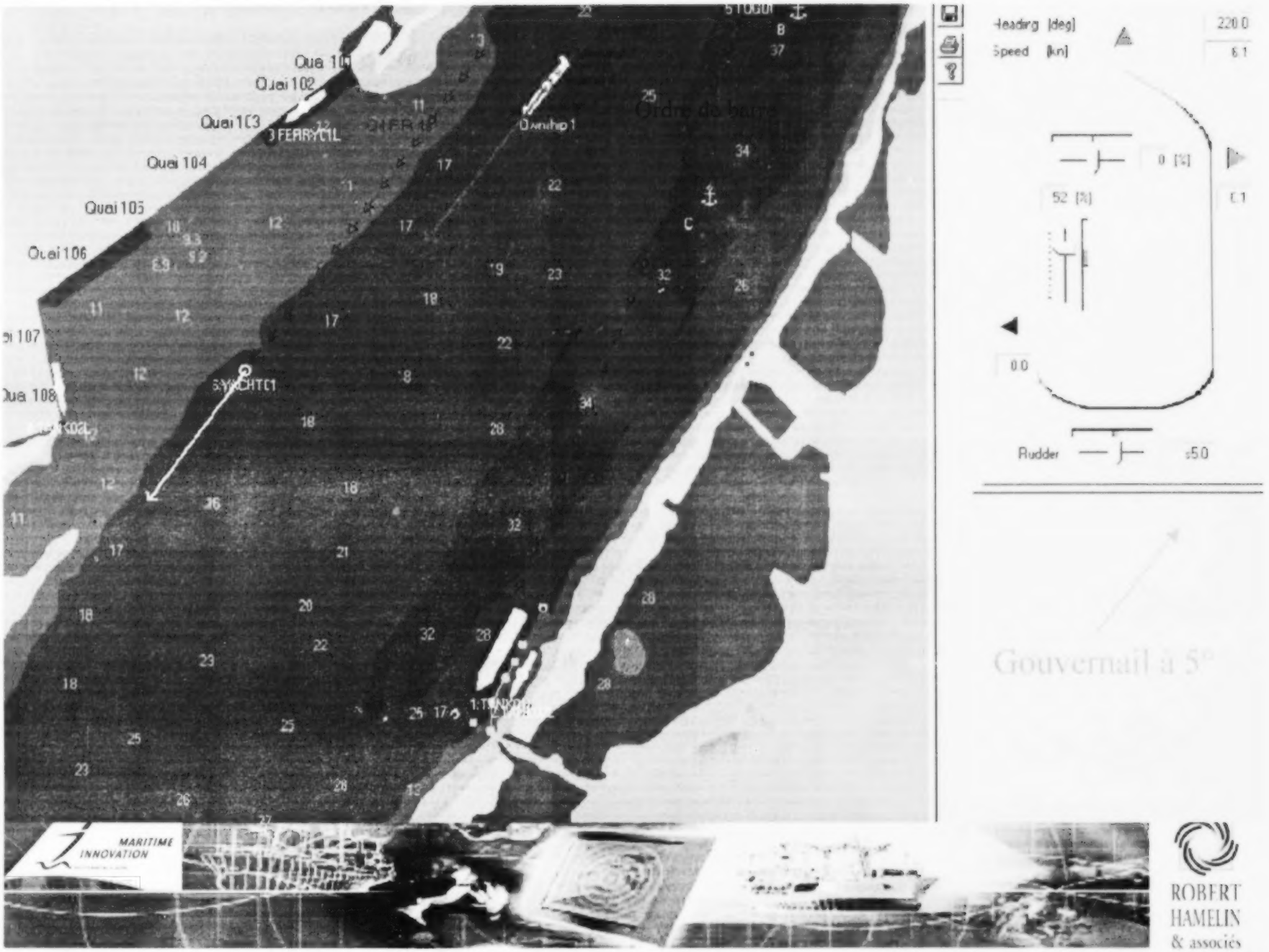


- Avec la Q4 sur l'avant du travers, le pilote ordonne 260°.
- Le capitaine, ayant mis le curseur de la carte électronique sur le quai de destination, voit 250°.
- Il transmet l'ordre du pilote mais dit au timonier de mettre 5° de barre (au lieu du 10° habituel).
- Le navire tourne trop lentement et après un moment, le pilote demande plus de barre.
- Le capitaine en demande 5° de plus au timonier et augmente les révolutions pour s'aider à tourner plus vite et, voyant son erreur, demande à droite toute.
- *Le pilote donne un ordre de barre ou de machine qui n'est pas exécuté par le capitaine, plus rarement par l'officier de quart, et le pilote n'en est pas informé.*

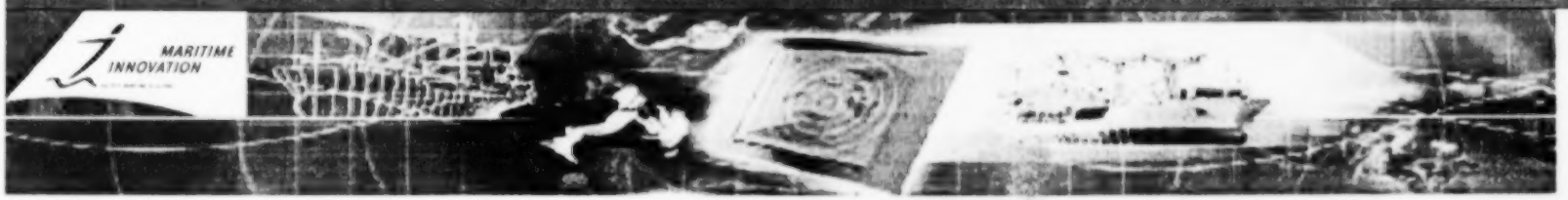


ROBERT
HAMELIN
& associés

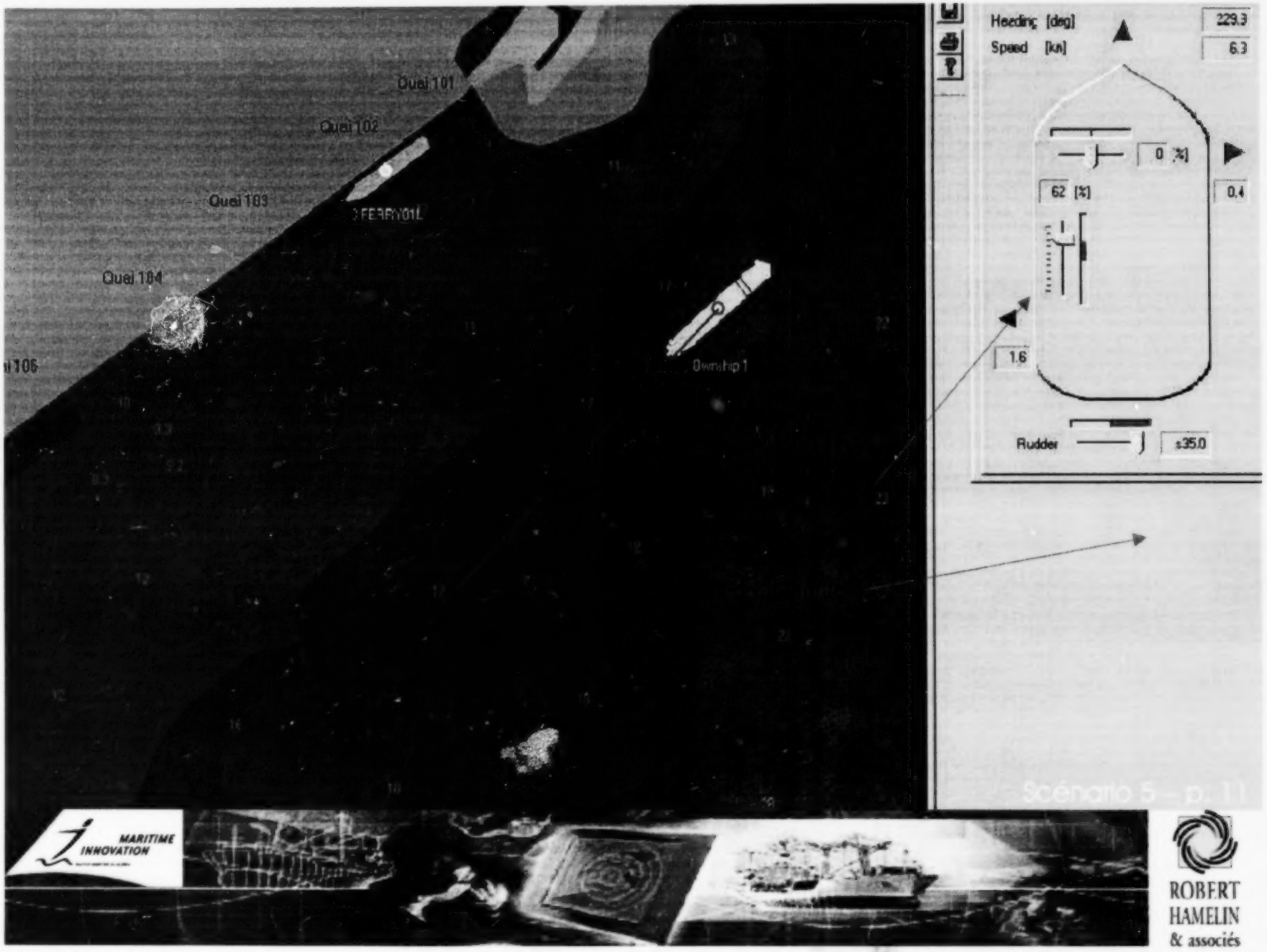

Curseur
No Berth No. 103
No Berth No. 106
No Berth No. 107
No Berth No. 108
Lat: 046° 47.641' N
Lon: 071° 13.384' W
Brg 250.5°
Rng: 0.73Nm
VRM:
Lat: 046° 47.885' N
Lon: 071° 12.377' W
RoT: SB 0.0°/m
Hdg:
COG: 219.9°
SOG: 6.1Kts
B Brg:
R Rng:
XTD: SB 0Ft
CTS: 0.0°
DTG: ---- Ft
Scénario 5 – p. 8
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés

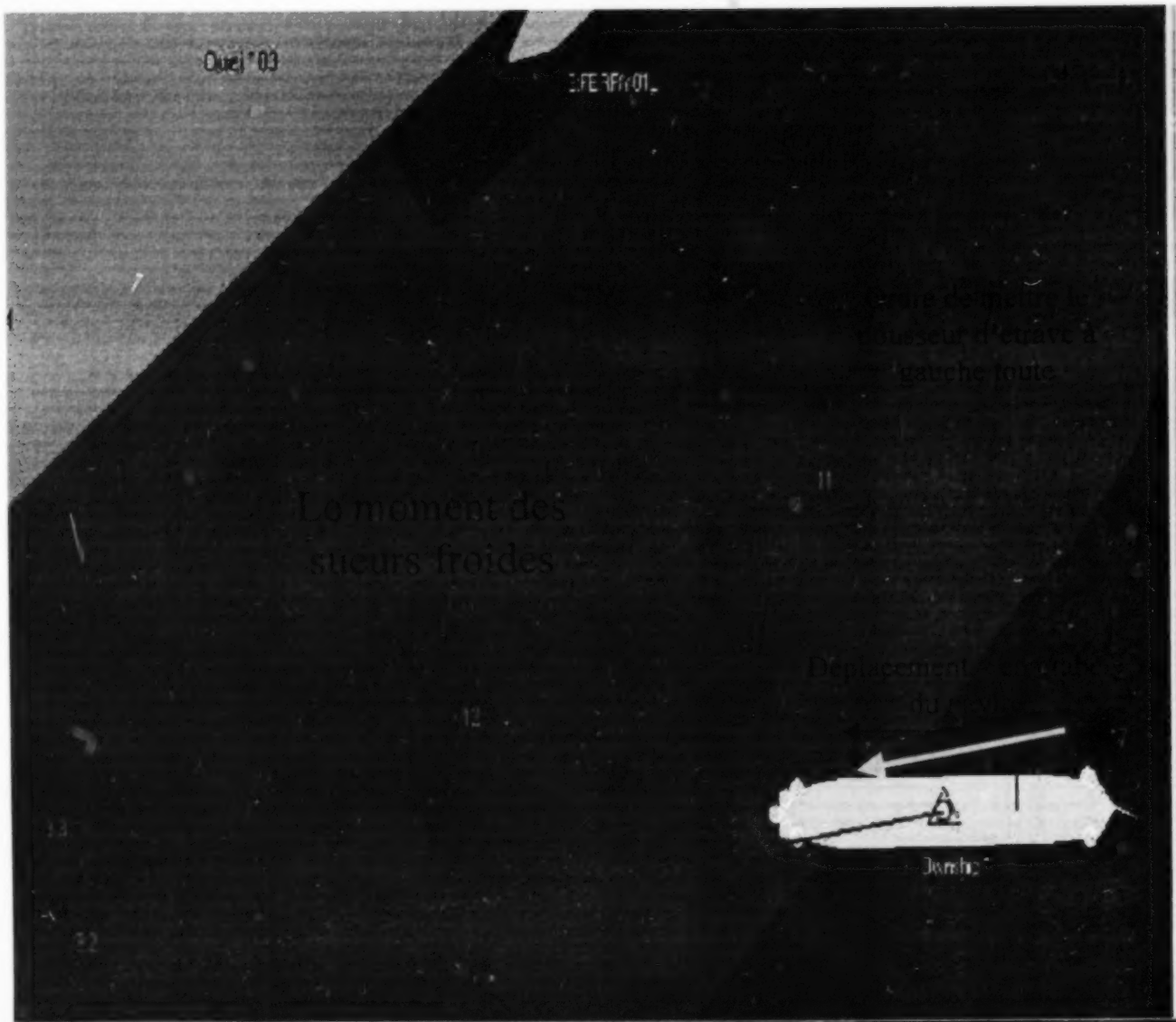

Quai 102
Quai 103
Quai 104
Quai 105
Quai 106
Omnihp 1
Ordre de barre
Heading [deg]
220.0
Speed [kn]
6.1
0 [%]
52 [%]
0.0
Rudder
-50
Gouvernail à 5°
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés

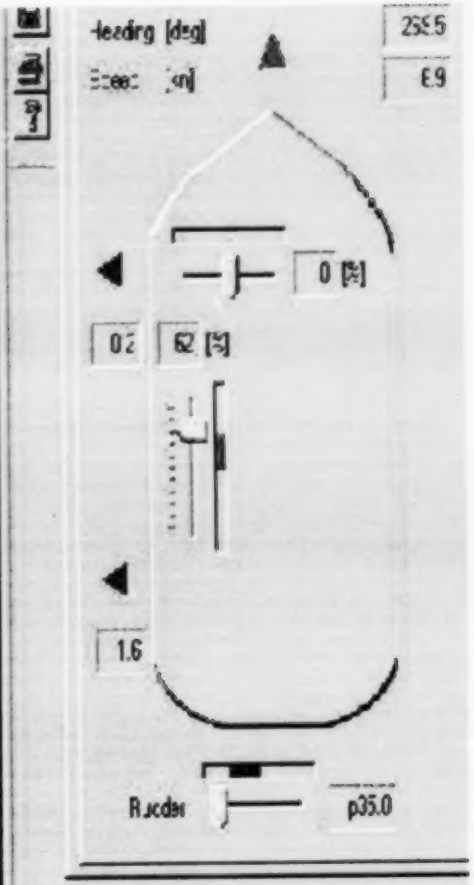
- Pourquoi le pilote a-t-il ordonné 260°?
- Il sait que la giration du navire lui permettra d'arriver à la position qu'il veut avoir avant l'approche finale.
- Pourquoi le capitaine a-t-il délibérément ralenti la giration?
- Parce qu'il a utilisé une information ponctuelle et n'a pas visualisé l'avance du navire.
- Il n'a pas demandé d'explications au pilote.
- Est-ce la faute du capitaine?
- Les deux ont une part de responsabilité dans une situation du genre.



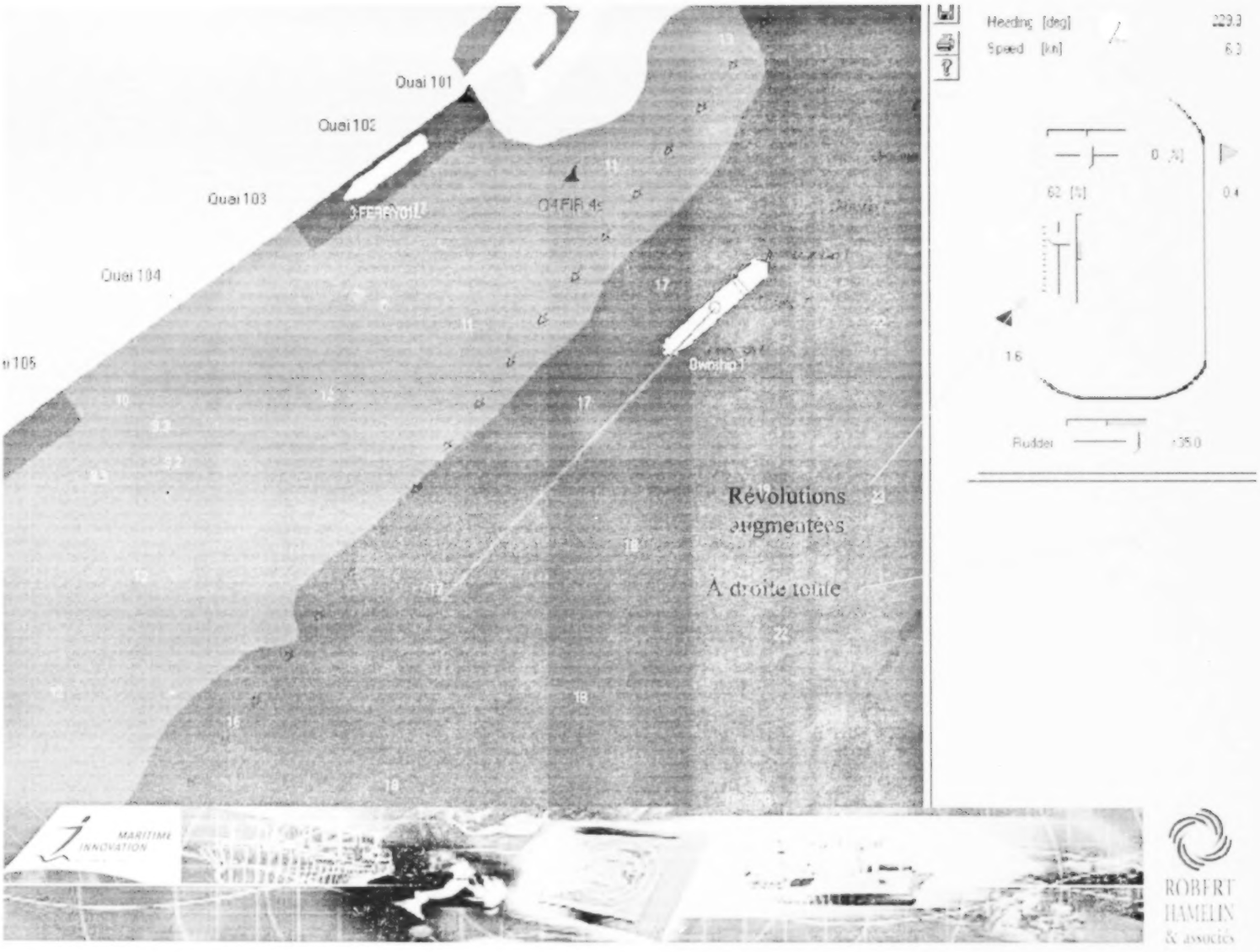
ROBERT
HAMELIN
& associés

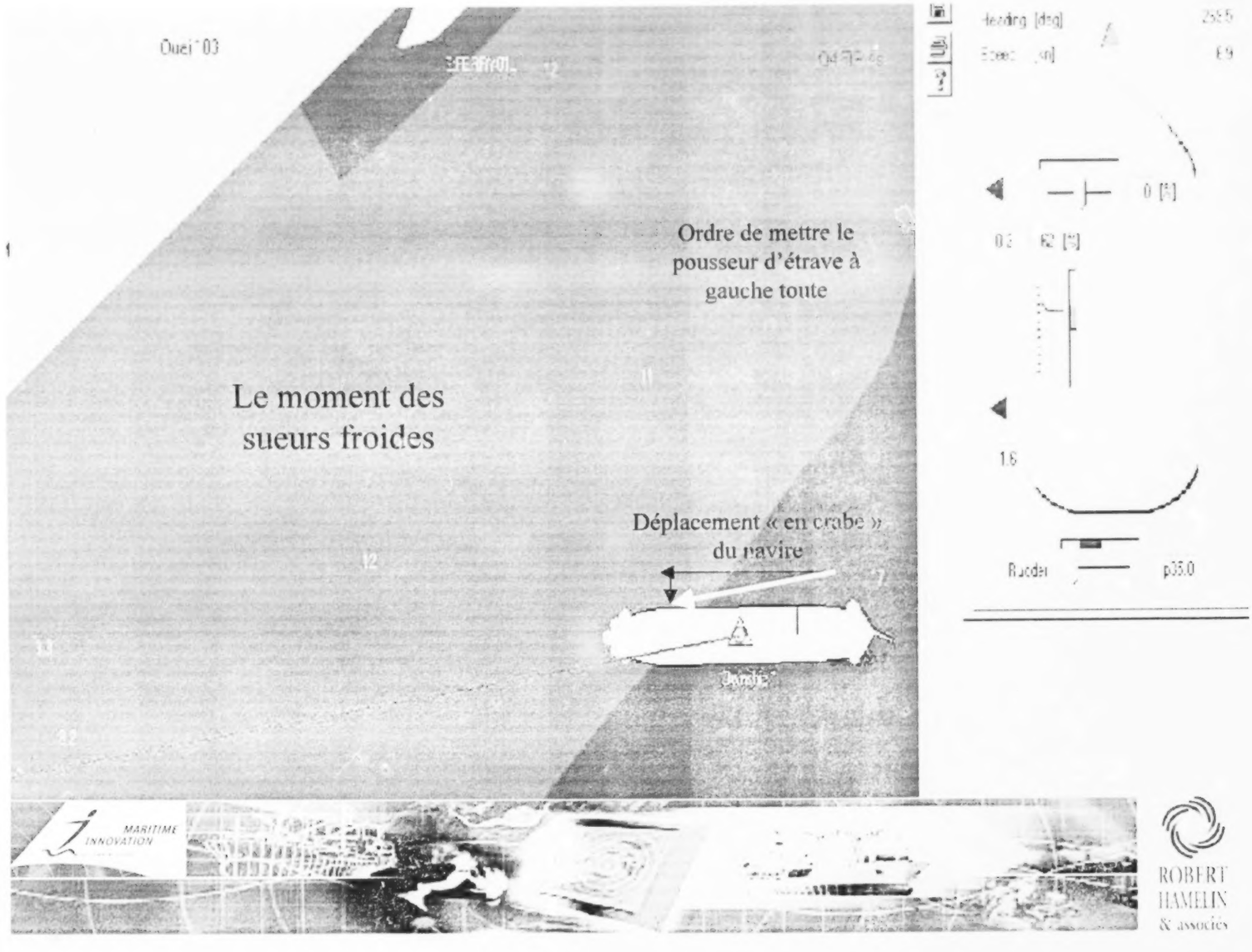

Quai 101
Quai 102
Quai 103
FERRY01L
Quai 104
Ownship 1
Heading [deg]
229.3
Speed [kn]
6.3
0 [%]
62 [%]
0.4
1.6
Rudder
±35.0
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés





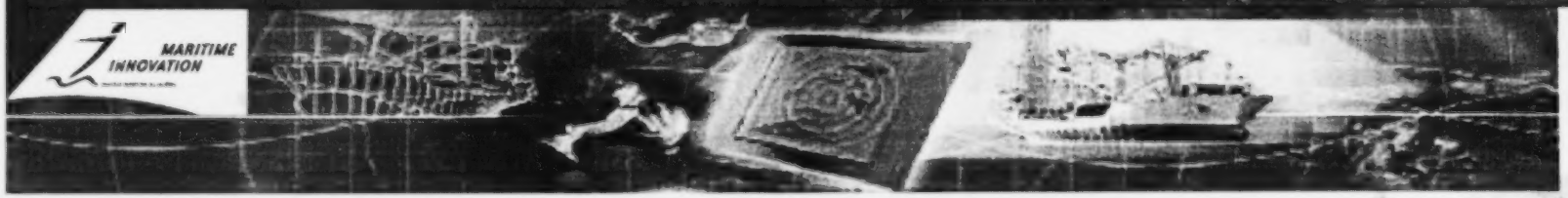
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés


Quai 101
Quai 102
Quai 103
Quai 104
Heading [deg]
229.0
Speed [kn]
6.3
Rudder
Révolutions augmentées
A droite toute
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés

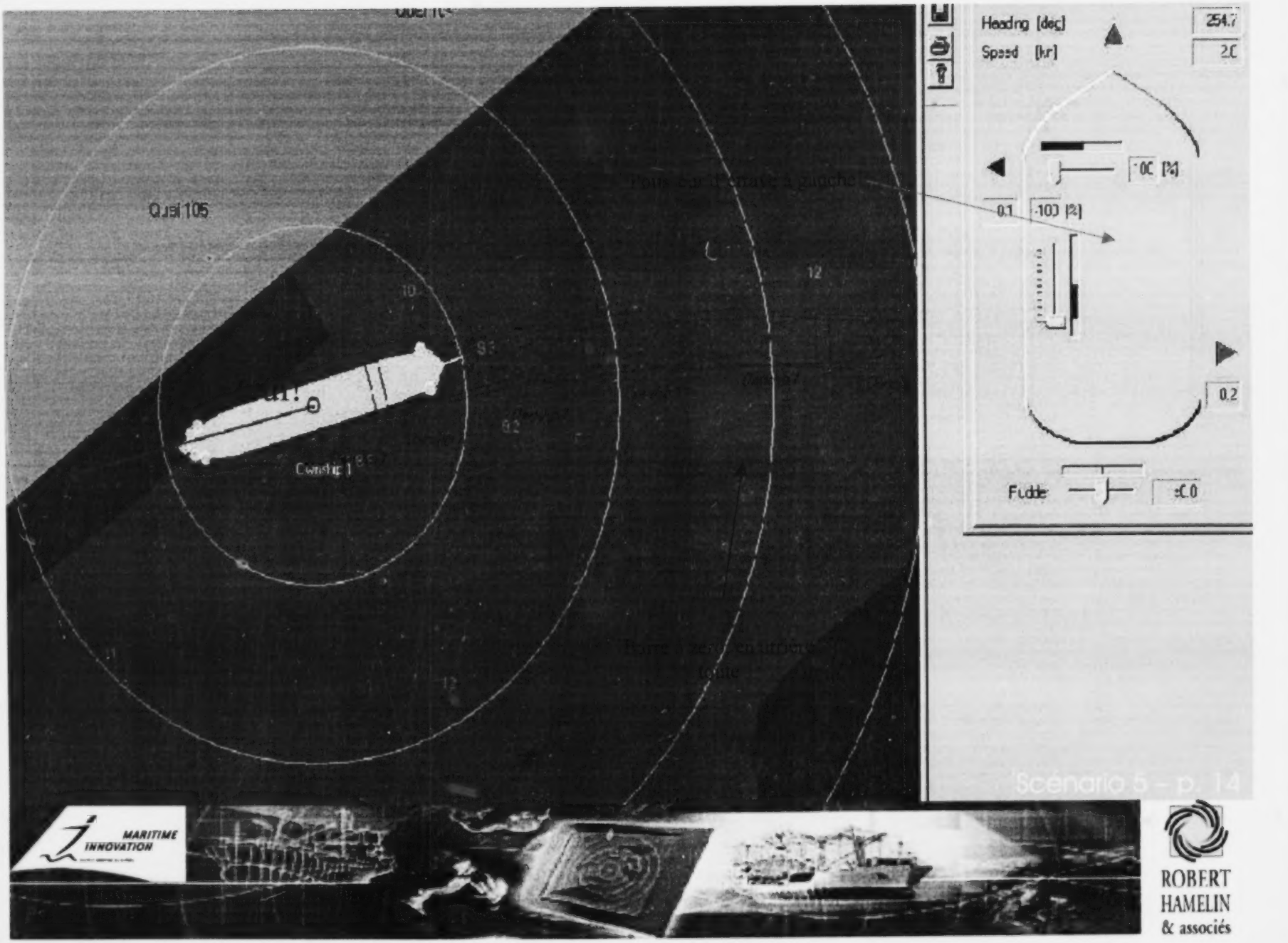

Quai 103
Heading [deg]
256.5
Rudder
Ordre de mettre le pousseur d'étrave à gauche toute
Le moment des sueurs froides
Déplacement « en crabe » du navire
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés

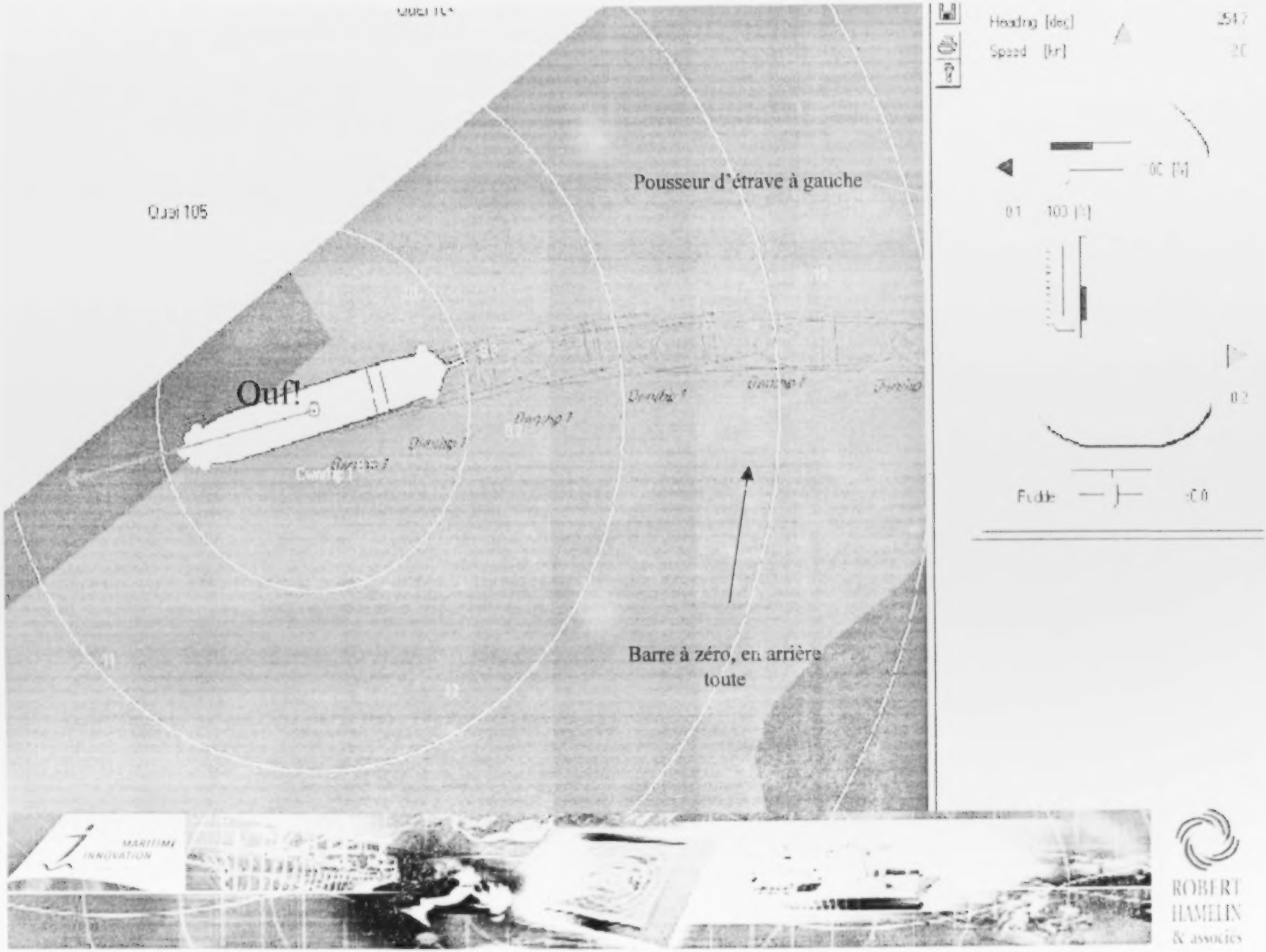
Un porte-conteneurs présente une vision de l'environnement qui peut être assez déconcertante à cause notamment de :

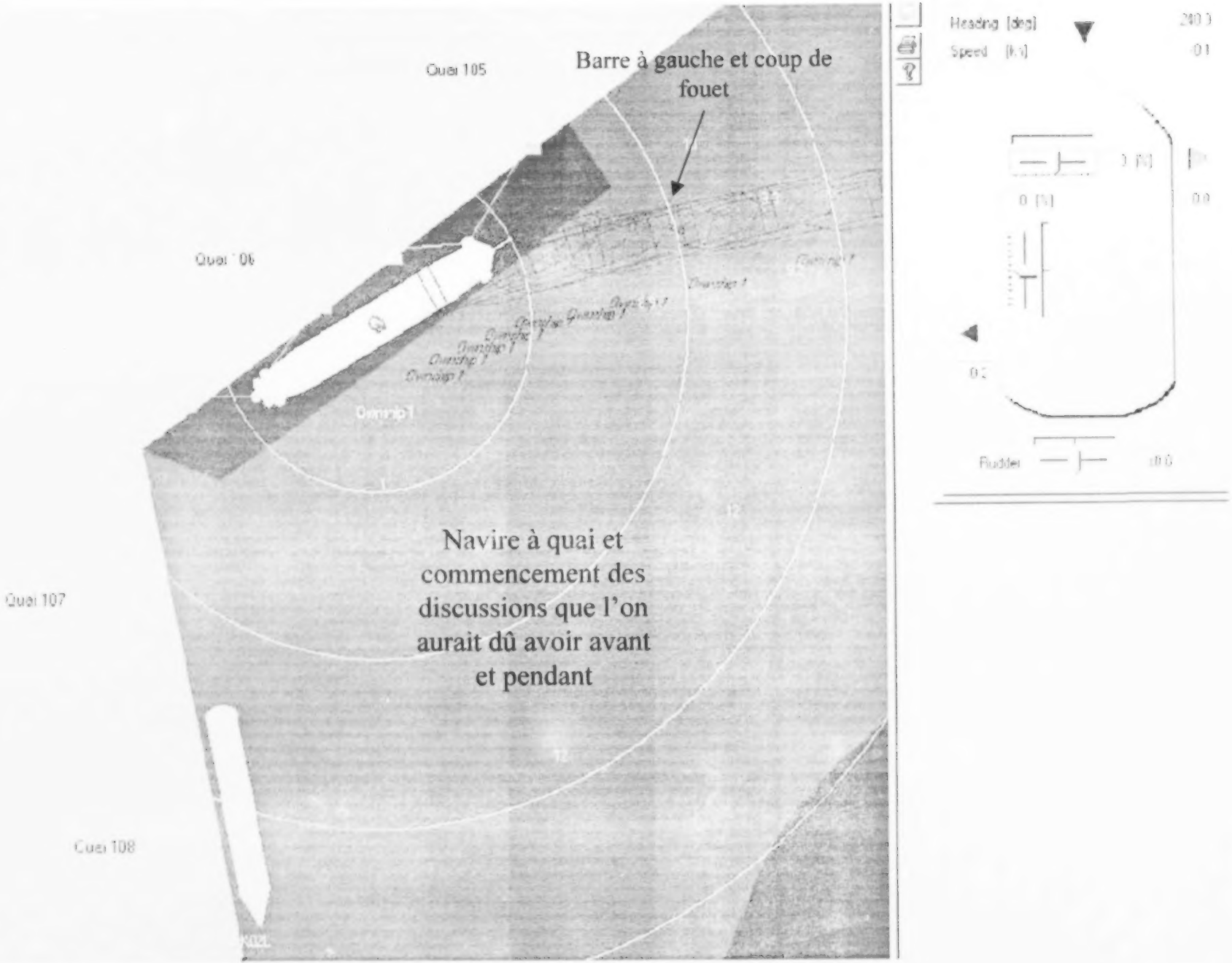
- La hauteur de l'œil
- Du défilement du paysage biaisé par les grandes dimensions du navire
- L'impression que le quai devant est plus près qu'il ne l'est en réalité

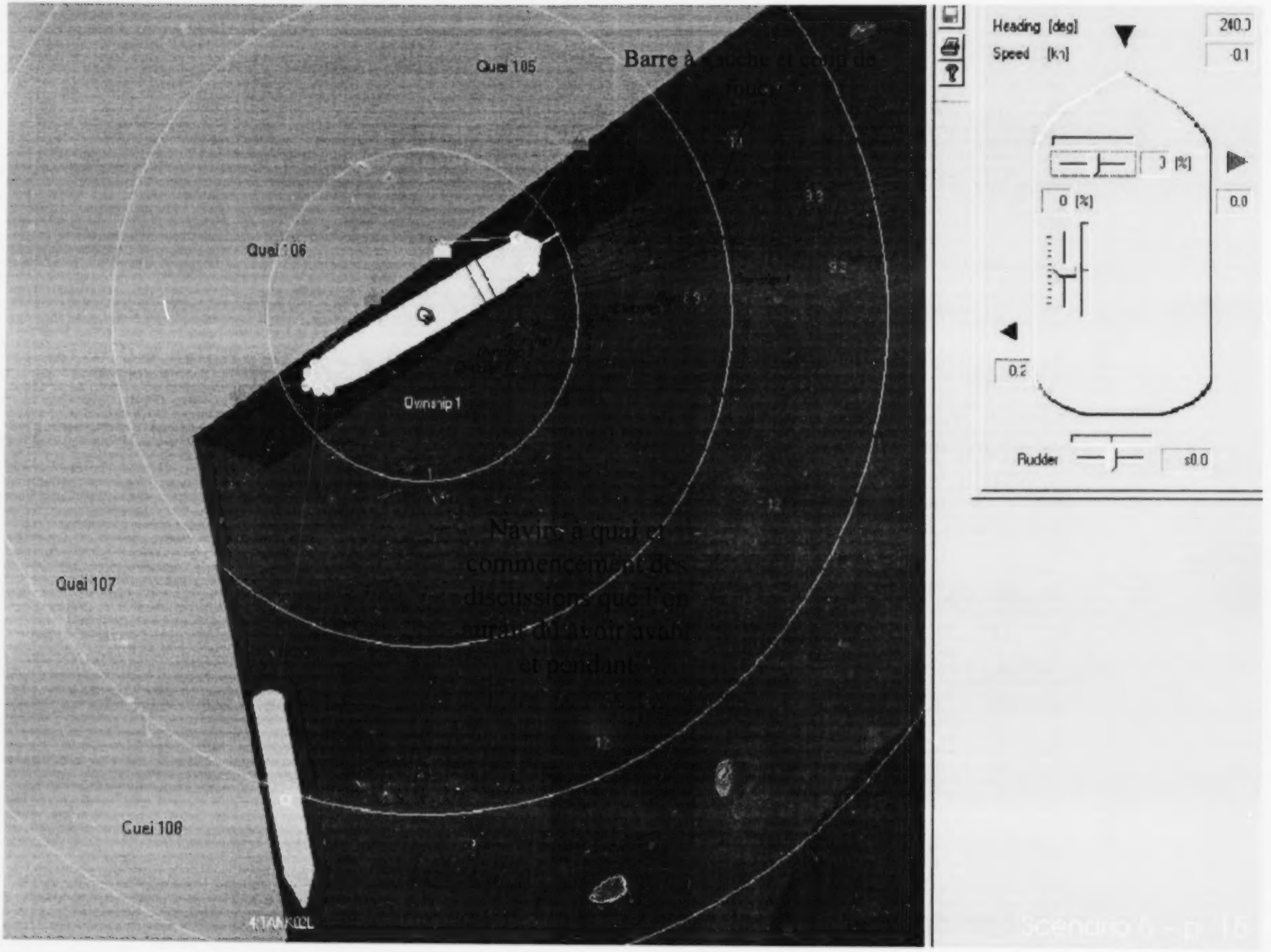


ROBERT
HAMELIN
& associés


Quai 105
Heading [deg]
254.7
Speed [kr]
2.0
0.1
0.2
Fudde
Scénario 5 – p. 14
MARITIME INNOVATION
ROBERT HAMELIN & associés


Quai 105
Pousseur d'étrave à gauche
Ouf!
Barre à zéro, en arrière toute
Heading [deg]
Speed [kt]
Rudder


Quai 105
Barre à gauche et coup de fouet
Quai 106
Quai 107
Navire à quai et commencement des discussions que l'on aurait dû avoir avant et pendant
Quai 108
Heading [deg]
Speed [kn]
Rudder


Quai 105
Barre à
Quai 106
Ownship 1
Navire à quai et
commencement des
discussions que l'on
aurait dû avoir avant
et pendant
Quai 107
Quai 108
4 TANKER
Heading [deg]
240.0
Speed [kn]
-0.1
0 [%]
0 [%]
0.0
0.2
Rudder
s0.0

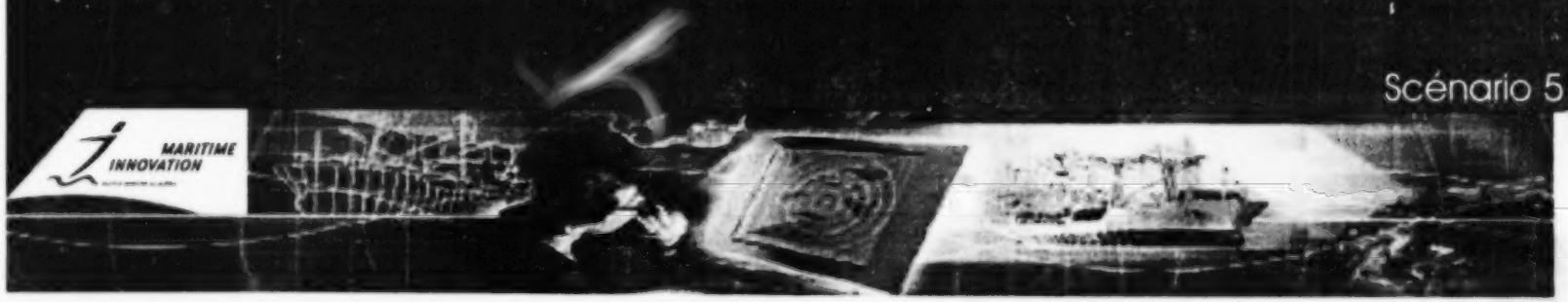
- Il est clair que la gestion des ressources à la passerelle n'était pas mise en œuvre de façon efficace dans un tel cas, d'où la responsabilité partagée.

- Le capitaine connaît nécessairement bien son navire, mais!

- Prenant toujours des pilotes pour les manœuvres à quai, il n'a pas nécessairement l'expertise pour l'accoster de la façon la plus sécuritaire.

- Le pilote connaît moins bien le navire que le capitaine, mais il a l'expertise des manœuvres à quai.

- Il est clair que nous sommes en présence de forces complémentaires qui, malheureusement, n'ont pas été correctement utilisées.

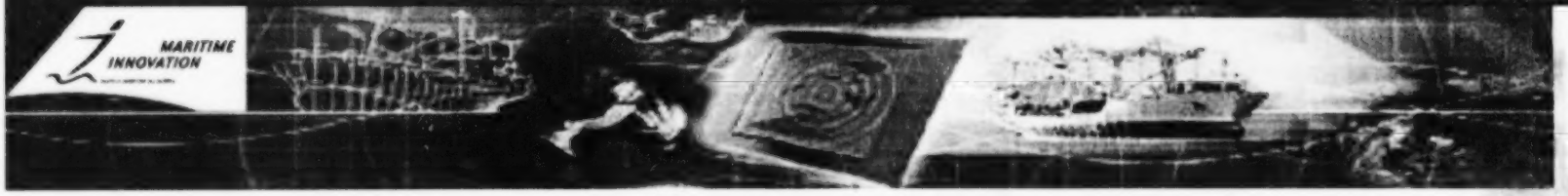


ROBERT
HAMELIN
& associés

Mesures préventives

- Respecter les procédures de GRP qui prônent, entre autres, l'échange d'information entre tous les membres de l'équipe.
- Le pilote doit toujours s'assurer que ces ordres sont correctement exécutés.
- Un simple coup d'œil à l'indicateur de barre le prévient tout de suite de la situation.
- Le capitaine doit dire ce qu'il fait, surtout s'il n'exécute pas les recommandations du pilote.
- Il doit surtout dire pourquoi il ne veut pas s'exécuter.
- Utiliser les services d'un officier pour suivre la progression à l'aide de la technologie disponible.
- SVCEI et radar sont deux compères qui peuvent admirablement se compléter dans une telle situation.
- Un officier bien entraîné aurait pu envoyé un signal d'alarme avant que la situation se détériore.
- Les deux personnes ont des expériences qui se complètent *lorsque les principes de GRP sont bien appliqués.*

Scénario 5 – p. 17



ROBERT
HAMELIN
& associés

- Il existe des mécanismes qui permettent de minimiser les risques associés à ce genre de situation :

- L'affectation d'un deuxième pilote en est un.

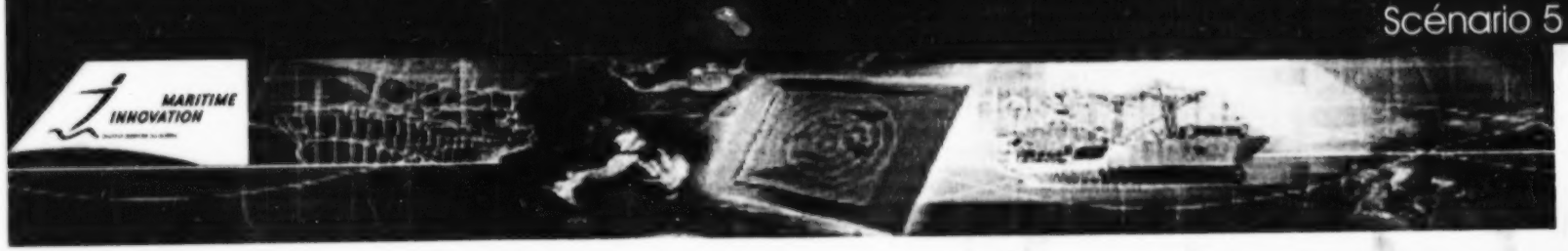
- Lorsque le navire est bien fourni en effectif, une bonne gestion des ressources en est un autre.

- Cette bonne gestion pourrait consister à doubler le quart par un officier qui lui ne remplirait aucune autre tâche que la surveillance des manœuvres.

- Par contre, aurait-il les connaissances locales nécessaires pour réagir à temps?

- Est-ce qu'il y a assez d'officiers pour faire ce genre de travail?

- Les officiers sont-ils assez reposés?



ANNEXE 6

Calcul de manoeuvrabilité

Annexe sur la manoeuvrabilité

Estimation de la pondération pour la manoeuvrabilité et la dimension d'un navire dans l'évaluation du risque

1- Objectifs

2- Limitation

3- Coefficient de manoeuvrabilité

4- Indice de dimension

5- Résultats

6- Interprétation

7- Références

1- Objectifs

L'objectif de cet exercice vise, dans un premier temps, à définir un coefficient permettant d'illustrer la manoeuvrabilité d'un navire indépendamment de sa dimension. Ce coefficient permet donc de comparer la manoeuvrabilité de navires de dimensions différentes. Dû au fait que les pilotes opèrent en eaux restreintes et que la dimension du navire est un facteur prépondérant dans l'évaluation du risque, nous avons, dans un deuxième temps, développé un facteur dimension en fonction d'une corrélation entre la manoeuvrabilité du navire et ses caractéristiques physiques. Pour finir, nous avons mis en relation le coefficient de manœuvre avec le facteur dimension de façon à obtenir un indice de pondération applicable directement dans le modèle comme facteur de risque pour un navire en particulier.

2- Limitation

L'échantillonnage utilisé pour obtenir les coefficients et les facteurs est assez restreint puisqu'il se limite à sept navires. Nous avons utilisé ces données car elles peuvent, dans une certaine mesure, être représentatives de la flotte circulant sur le Saint-Laurent. Pour obtenir de meilleurs résultats, l'échantillonnage devrait porter sur un nombre de navires sélectionnés et pondérés, de façon à représenter le trafic réel que l'on retrouve dans les circonscriptions du Bas Saint-Laurent et du Saint-Laurent central.

L'échantillonnage utilisé comprend les navires suivants :

- Pétrolier de 140 m
- Pétrolier 300 m
- Conteneur 170 m
- Conteneur 294 m
- Vraquier 200 m
- Cargo 190 m
- Ro-Ro (deux hélices) 170 m

* Fiche technique des navires disponibles

3- Coefficient de manoeuvrabilité

La manoeuvrabilité d'un navire va affecter directement le risque d'incident sur un transit dans une voie navigable. L'exercice qui a été fait vise à quantifier l'augmentation du risque en fonction de la manoeuvrabilité d'un navire. Dans l'estimation, nous avons tenu compte de trois critères de manoeuvrabilité qui sont les suivants :

- Arrêt d'urgence (distance et temps);
- Cercle de déviation (0 à 90 degrés) (avance et transfert);
- Manœuvre en zig zag 20 degrés (dépassement et temps).

Ces trois critères ont été pondérés de façon égale. Afin d'exclure le facteur dimension et ainsi arriver à obtenir un coefficient de manoeuvrabilité indépendant, nous avons pondéré les composantes du coefficient par le facteur dimension le mieux corrélé avec la manoeuvrabilité. Le facteur dimension retenu a été la longueur entre les perpendiculaires du navire (corr; 0,958).

Pour chaque navire, nous avons utilisé la formule suivante :

Critère d'urgence :

$$U = \frac{\left(\sqrt{\left(\left(Ac/L\right)^2 + \left(Tc/L\right)^2\right)} + \sqrt{\left(\left(At/L\right)^2 + \left(Tt/L\right)^2\right)}\right)}{2}$$

Ac = Avance crash stop
Tc = Transfer crash stop
At = Avance turning circle 90
Tt = Transfer turning circle 90
L = Longueur entre perpendiculaires
C = Dépassement de cap test zig zag 20
Tz = Temps d'exécution test zig zag 20
Tc = Temps exécution crash stop
N = Nombre de navires

Les temps et dépassements provenant du test zig zag 20 degrés, peuvent être obtenus par simulation ou par calcul.

Équation complète :

$$Im = \frac{\left[\left(\frac{U}{\Sigma U/N}\right) + \left(\frac{Tz}{\Sigma Tz/N}\right) + \left(\frac{C}{\Sigma C/N}\right)\right]}{3}$$

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Pétrolier de 140 m 1,00
- Pétrolier 300 m 1,33
- Conteneur 170 m 0,92
- Conteneur 294 m 1,02
- Vraquier 200 m 1,05
- Cargo 190 m 1,11
- Ro-Ro 170 m 0,58 (deux hélices)

L'indice de pondération est égal à 1 lorsque le navire représente un facteur de manoeuvrabilité normal pour sa dimension par rapport à l'échantillonnage. Lorsque l'indice dépasse 1, le navire a une faible manoeuvrabilité et à moins de 1, le navire a une bonne manoeuvrabilité.

4- Indice de dimension

Dans notre estimation de l'indice représentant la dimension du navire, nous avons utilisé les facteurs longueur et largeur du navire. Ces deux facteurs ont été retenus, car ce sont ceux qui offrent le meilleur taux de corrélation avec le temps de manoeuvre. Le tableau suivant montre les différents indices de corrélation basés sur l'échantillon :

Caractéristique	Corrélation linéaire
Longueur BP	0,9158
Largeur	0,8207
Déplacement	0,7281
Tirant d'eau	0,7882
Vitesse	0,4331

L'équation utilisée provient d'analyses statistiques basées sur des régressions simples et multiples entre la longueur du navire, sa vitesse et son temps de réaction. L'équation appliquée pour représenter le facteur dimension du navire est la suivante :

$$D = (0{,}019287 * L) + (0{,}070488 * B) \quad 0{,}016266$$

* R2 = 0,90195

Équation complète pour le navire :

$$Id = \left(\frac{D}{\Sigma D / N} \right)$$

Résultat facteur dimension :

- Pétrolier 140 m 23 0,7133
- Pétrolier 300 m 47 1,5322
- Conteneur 170 m 28 0,8727
- Conteneur 294 m 32 1,2790
- Canmar 294 m 32 1,2790
- Vraquier 200 m 32 1,0331
- Cargo 190 m 32 0,9775
- Ro-Ro 170 m 26 0,8588

5- Résultats

Les résultats pour l'évaluation du navire proviennent de la multiplication des deux facteurs. On obtient alors un indice pour le navire qui tient compte de la dimension du navire, de sa vitesse et de sa capacité à manœuvrer. Pour notre échantillon, les résultats sont les suivants :

Navire	*Im x Id*	Résultats
• Pétrolier	0,7133 x 1	0,7142
• Pétrolier	1,5322 x 1,33	2,0423
• Conteneur 170 m	0,8727 x 0,92	0,8046
• Conteneur 294 m	1,2790 x 1,02	1,3035
• Vraquier	1,0331 x 1,05	1,0826
• Cargo	0,9775 x 1,11	1,0894
• Ro-Ro 2 hélices	0,8588 x 0,581	0,4992

6- Interprétation

Plus le facteur est élevé, plus le navire comporte un risque et demande donc un niveau d'effort supplémentaire.

Niveau d'effort	Facteur du navire
Faible	0,5
Moyen	0,75
Élevé	1
Très élevé	1,25
Critique ou impossible	1,5

7- Références

- *The effect of ship inherent controllability on piloted performance : Evaluation and prediction*. U.S. Coast Guard Research and Development Center and U.S. Department of Transportation.

- *Analysis of Kempf's standard maneuver test and proposed steering quality indices*. Nomoto K.

- *Ship data base Manager*. Kongsberg Norcontrol Simulation AS.

- *Description of ship model*. Kongsberg Norcontrol Simulation AS.

- *The effect of ship inherent controllability on piloted performance : The simulator experiment*. U.S. Coast Guard Research and Development Center and U.S. Department of Transportation.

- *Introduction to econometrics*. G.S. Maddala, University of Florida.

ANNEXE 7

Liste des participants aux consultations

Première ronde de consultation

Le mardi 11 novembre 2003, dans les bureaux de la Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent, étaient présents :

Jacques Paquin, Innovation maritime
Alain Richard, Innovation maritime
Martin Fournier, Robert Hamelin & associés
Guy Marmen, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Jean Lapointe, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Simon Pelletier, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Michel Pouliot, Association des pilotes maritimes du Canada
Gilles Giroux, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Luc Drouin, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Pierre Tremblay, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Guy Bélanger, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Nicolas Audet, Stratégie Saint-Laurent

Le vendredi 20 novembre 2003, dans les bureaux de la Fédération maritime du Canada, étaient présents :

Jacques Paquin, Innovation maritime
Alain Richard, Innovation maritime
Martin Fournier, Robert Hamelin & associés
Ivan Lantz, Fédération maritime du Canada
Anjuna Langevin, Fédération maritime du Canada
Jacques Luce, Maersk Sealand
Claude Gagné, Alcan
Donald Poirier, CP Ships
David Grieve, Fednav International
Réjean Lanteigne, Association des armateurs canadiens
Claude Dumais, Association des armateurs du Saint-Laurent
Ross Baldwin, McLean Kennedy Inc.
Yoland Jodoin, Transport Desgagnés
Dan Karajeorge, Robin Maritime Inc.

Deuxième ronde de consultation

Le mercredi 18 février 2004, à Québec, dans la salle *La fontaine* de l'Auberge Sainte-Foy, étaient présents :

Alain Richard, Innovation maritime
Martin Fournier, Robert Hamelin & associés
Guy Marmen, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Jean Lapointe, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Simon Pelletier, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Michel Pouliot, Association des pilotes maritimes du Canada
Gilles Giroux, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Pierre Tremblay, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Guy Bélanger, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central

Le mardi 17 février 2004, à Montréal, dans les locaux de la Fédération maritime du Canada, étaient présents :

Alain Richard, Innovation maritime
Martin Fournier, Robert Hamelin & associés
Ivan Lantz, Fédération maritime du Canada
Robert Dorais, Service hydrographique du Canada
Nicole Trépanier, Armateurs du Saint-Laurent
Claude Mailloux, SODES
Chad Allen, OOCL
Claude Gagné, Alcan
Donald Poirier, CP Ships
David Grieve, Fednav International
Andrew Digby, Robert Reford, Bryan Wilson, Lower St. Lawrence Ocean Agencies Ltd.

Troisième ronde de consultation

Le jeudi 25 mars 2004, à Québec, dans la salle *Verdi* de l'Hôtel Plaza, étaient présents :

Jacques Paquin, Innovation maritime
Alain Richard, Innovation maritime
Martin Fournier, Robert Hamelin & associés
Guy Marmen, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Jean Lapointe, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Simon Pelletier, Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
Michel Pouliot, Association des pilotes maritimes du Canada
Gilles Giroux, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Pierre Tremblay, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Guy Bélanger, Corporation des pilotes du Saint-Laurent central
Pierre Cloutier, Garde côtière canadienne (SCTM)

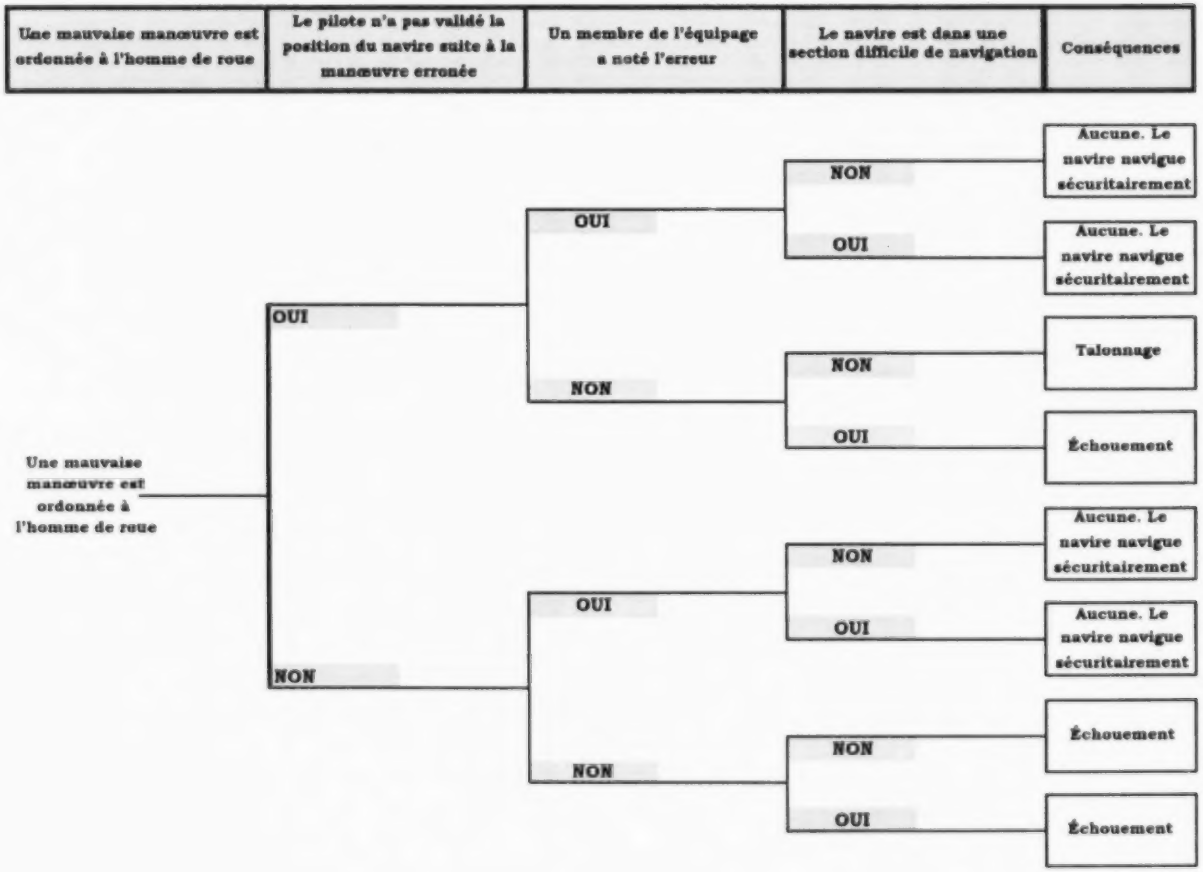
Le vendredi 26 mars 2004, à Montréal, dans les locaux de la Fédération maritime du Canada, étaient présents :

Jacques Paquin, Innovation maritime
Alain Richard, Innovation maritime
Martin Fournier, Robert Hamelin & associés
Michael Broad, Fédération maritime du Canada
Ivan Lantz, Fédération maritime du Canada
Nicole Trépanier, Armateurs du Saint-Laurent
Réjean Lanteigne, Association des armateurs canadiens
Chad Allen, OOCL
Claude Gagné, Alcan
Donald Poirier, CP Ships
Denys Pouliot, Administration de pilotage des Laurentides
Gilles Morin, ULGI Trois-Rivières
Andrew Digby, Robert Reford, Bryan Wilson, Lower St. Lawrence Ocean Agencies Ltd.

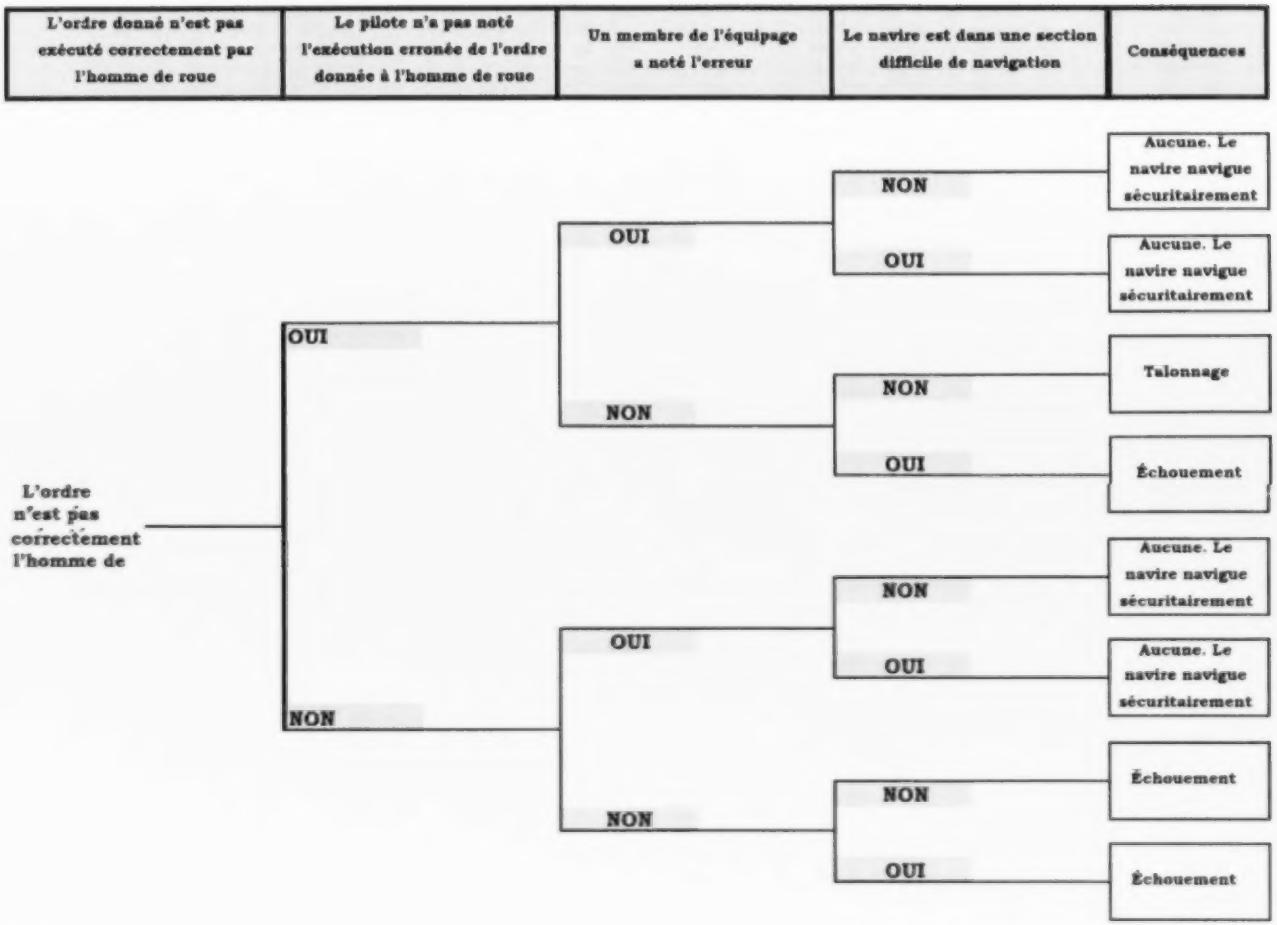
ANNEXE 8

Arbres de défaillances

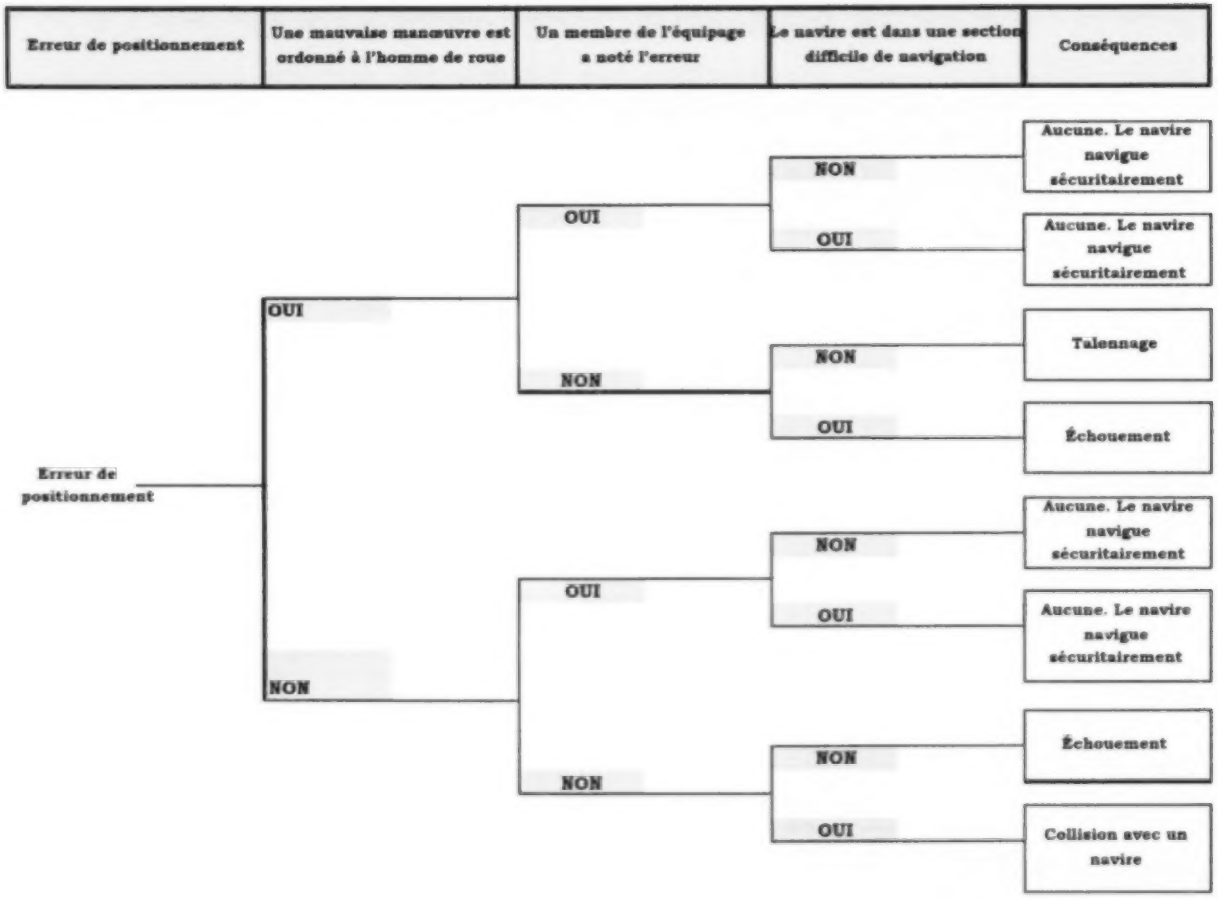
Le pilote fait une erreur dans la préparation du plan de navigation



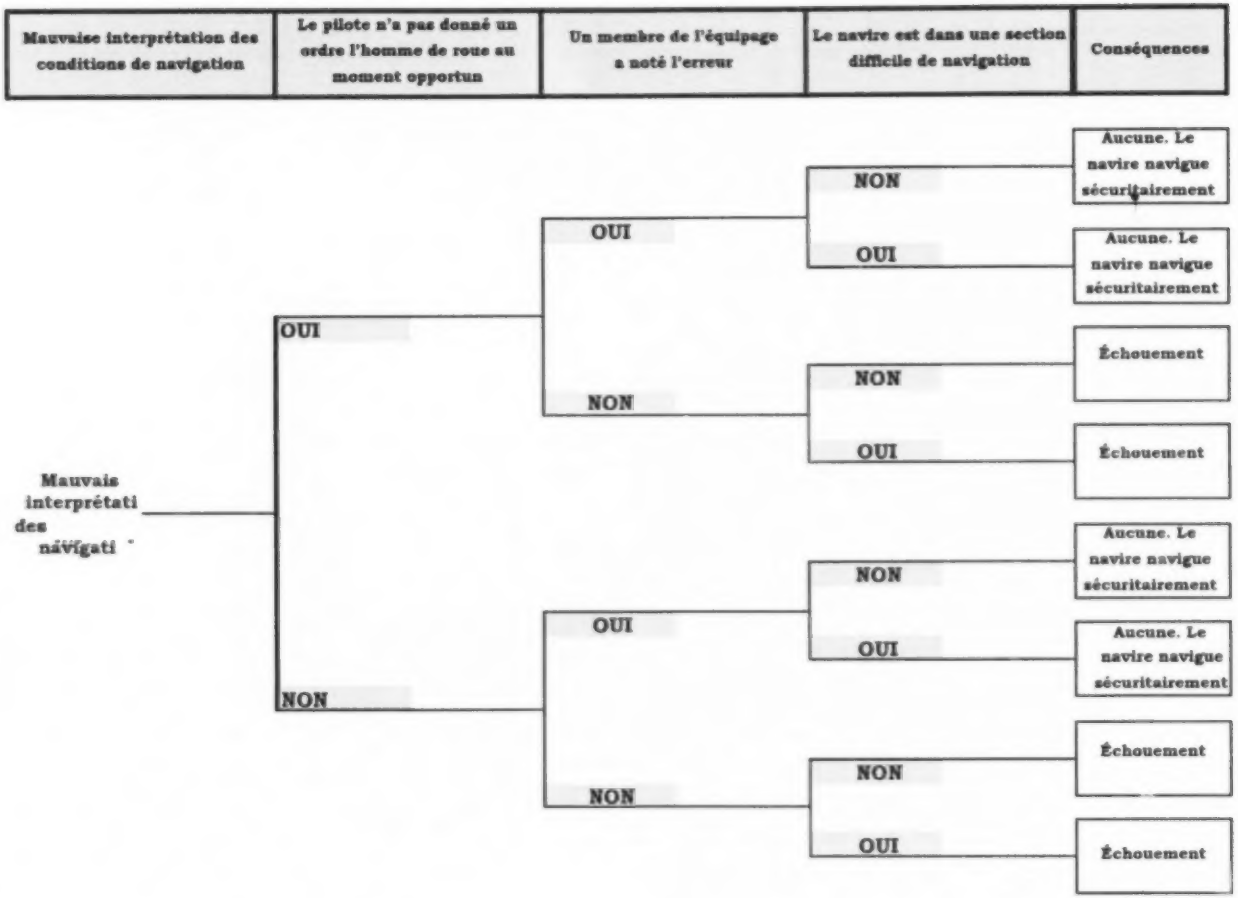
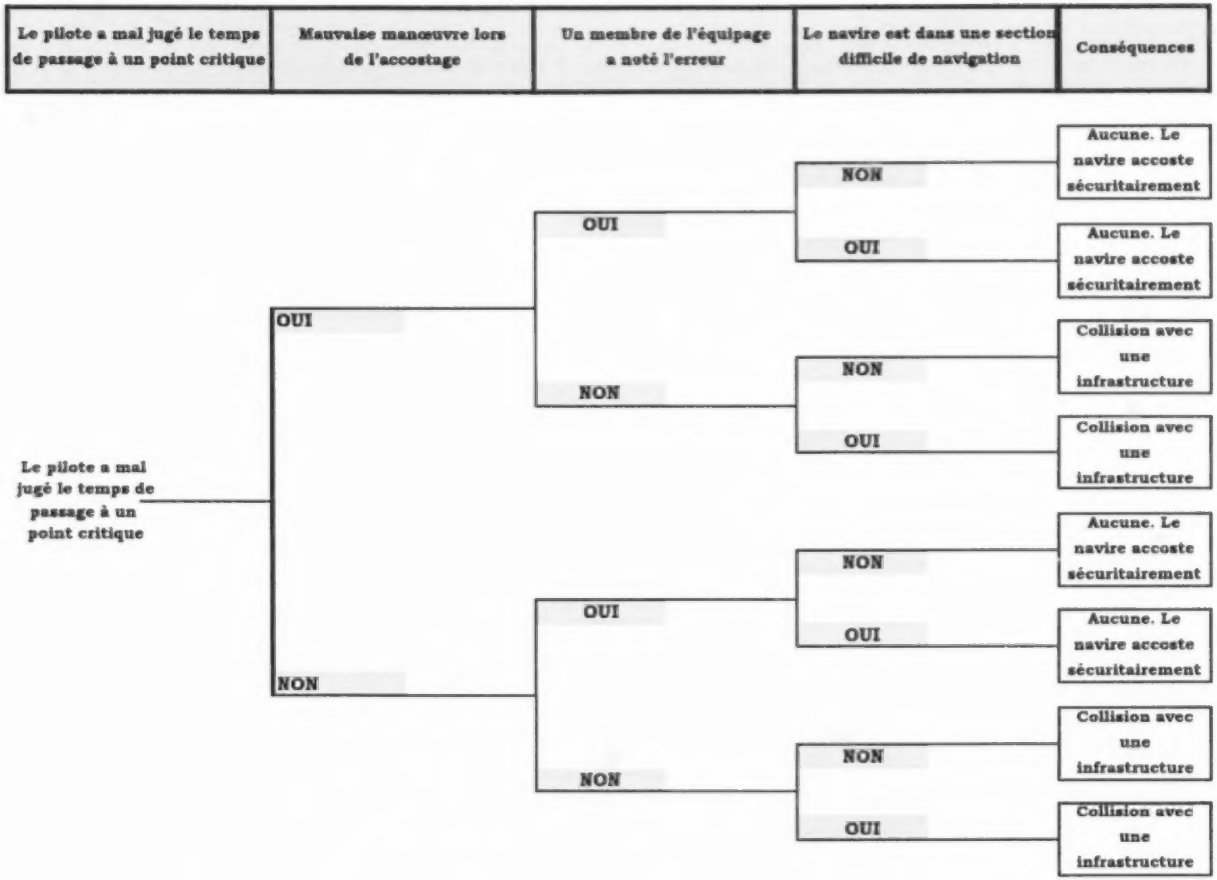
Le pilote fait une erreur dans la préparation du plan de navigation



Le pilote fait une erreur dans la préparation du plan de navigation



Le pilote fait une erreur dans la préparation du plan de navigation



Le pilote fait une erreur dans la préparation du plan de navigation